RAY KURZWEIL

BIR ZIHIN YARATMAK

İNSAN DÜŞÜNCESİNİN ESRARI

İSTANBUL BİLGİ ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI

RAY KURZWEIL • BIR ZIHIN YARATMAK - İNSAN DÜŞÜNCESİNİN ESRARI



RAY KURZWEIL

Ray Kurzweil, 12 Şubat 1948 tarihinde dünyaya gelmiştir. Yazar, girişimci, fütürist ve günümüzün öncü mucitlerinden biri olan Ray Kurzweil, Wall Street Journal tarafından "durdurulamayan deha", Forbes tarafından ise "kusursuz fikir makinesi" olarak betimlenmiştir. Inc. Magazine, kendisini ABD girişimcileri arasında 8. sıraya koyarak "Thomas Edison'un haklı varisi" olarak tanıtmıştır. PBS ise kendisini Amerika'nın son iki yüzyılın 16 devrimcisinden biri olarak tanımlamıştır.

Optik karakter tanıma, metinden konuşma sentezi, konuşma tanıma teknolojisi ve elektronik klavyeli enstrümanlar üzerine buluşları olan Kurzweil, dünyanın en büyük icat ödülü olan MIT-Lemelson ödülünü kazanmıştır. 1999 senesinde ülkenin en prestijli teknoloji ödülü olan Ulusal Teknoloji Madalyası'nı bir Beyaz Saray seremonisinde Başkan Clinton'dan almıştır. 2002 senesinde ise ABD Patent Ofisi tarafından kurulan Ulusal Mucitler Onur Listesi'ne dahil olmuştur. Ray Kurzweil'in *The Age of Intelligent Machines* (The MIT Press, 1992), *The Age of Spiritual Machines* (Penguin Books, 2000), *The Singularity is Near* (Penguin Books, 2006), *Fantastic Voyage: Live Long Enough to Live* (Plume, 2005), *Forever Transcend: Nine Steps to Living Well Forever* (Rodale Books, 2010) adlı kitapları bulunmaktadır.



İSTANBUL BİLGİ ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI

Ray Kurzweil
Bir Zihin Yaratmak
İnsan Düşüncesinin Esrarı
Çeviren Dilara Gostolüpçe

Ray Kurzweil
How to Create a Mind
The Secret of Human Thought Revealed
Copyright © Penguen Books, 2013
Telif hakları Akçalı Ajans aracılığıyla alınmıştır

İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları 534
Bilim ve Teknoloji 2

ISBN 978-605-399-422-0

1. Baskı İstanbul, Aralık 2015

© Bilgi İletişim Grubu Yayıncılık Müzik Yapım ve Haber Ajansı Ltd. Şti.
Yazışma Adresi: İnönü Caddesi, No: 43/A Kuştepe Şişli 34387 İstanbul
Telefon: 0212 311 64 63 - 311 61 34 / Faks: 0212 297 63 14 • Sertifika No: 11237

www.bilgiyay.com
E-posta yayin@bilgiyay.com
Dağıtım dagitim@bilgiyay.com

Yayına Hazırlayan Cem Tüzün
Tasarım Mehmet Ulusel
Dizgi ve Uygulama Maraton Dizgievi • www.dizgievi.com
Düzelti Remzi Abbas
Dizin Belgin Çınar
Baskı ve Cilt Mega Basım Yayın San. ve Tic. A.Ş.
Cihangir Mah. Güvercin Cad. No: 3/1 Baha İş Merkezi, A Blok Kat 2 Avcılar İstanbul
Telefon: 0212 412 17 00 / Faks: 0212 422 11 51 • Sertifika No: 12026

İstanbul Bilgi University Library Cataloging-in-Publication Data
A catalog record for this book is available from the Istanbul Bilgi University Library

Kurzweil, Ray.
Bir zihin yaratmak: insan düşüncesinin esrarı / Ray Kurzweil; çeviren Dilara Gostolüpçe.
282 pages, 55 illustrations, 17 pict.; 16x23 cm.
Includes bibliographical references and index.
ISBN 978-605-399-422-0

1. Brain --Localization of functions. 2. Self-consciousness (Awareness). 3. Artificial intelligence.
I. Title. il. Gostolüpçe, Dilara.
QP385.K8719 2015

Ray Kurzweil

Bir Zihin Yaratmak
İnsan Düşüncesinin Esrarı

Çeviren
Dilara Gostolüpçe

Leo Oscar Kurzweil'a.
Olağandışı bir dünyaya giriyorsun.

İçindekiler

Teşekkür

Eşim Sonya'ya bu yaratıcı sürecin kararsızlığı boyunca gösterdiği sevgi dolu sabrı için;

Çocuklarım Ethan ve Amy'ye: gelinim Rebecca'ya; kız kardeşim Enid'e ve yeni torunum Leo'ya sevgileri ve verdikleri ilham için;

Annem Hannah'ya genç yaşta deney yapma özgürlüğünü verdiği, ilk fikirlerimi ve icatlarımı desteklediği için ve babamı uzun hastalık dönemi boyunca hayatta tuttuğu için;

Viking'te uzun zamandır editörüm olan Rick Kot'a liderliği, istikrarlı ve anlayışlı rehberliği ve uzman düzenlemeleri için;

Yirmi yıldır edebi ajanlığımı yapan Loretta Barrett'a keskin zekâlı ve coşkulu rehberliği için;

Uzun zamandır iş ortağım olan Aaron Kleiner'a son kırk yıldır devam eden özverili işbirliği için;

Özverili ve fevkalade araştırma desteği için Amara Angelica'ya;

Olağanüstü araştırma sezgisi ve fikirleri için Sarah Black'e;

Mükemmel çizimleri için Laksman Frank'e;

Hevesli organizasyonel desteği için Sarah Reed'e;

Bu konuda ve diğer konularda kamuoyu etkinliklerimdeki uzman organizasyonu için Nanda Barker-Hook'a;

Yazma zanaatindeki rehberliği için Amy Kurzweil'a;

Araştırma desteği, yapay zekâ ve zihin-beden bağlantısı üzerine fikirleri için Cindy Mason'a;

E-posta yoluyla ve başka yollarla yaptığımız bilgilendirici tartışmalar ve zekice fikirleri için Dileep George'a;

Bu kitapta bahsettiğim tüm teknolojilere olan adanmışlığı ve bu alanlarda gelişmekte olan teknolojilerdeki işbirliğimiz için Martine Rothblatt'a;

Önemli araştırmalar ve bu proje için lojistik destek sağlayan Aaron Kleiner, Amara Angelica, Bob Beal, Casey Beal, Celia Black-Brooks, Cindy Mason, Denise Scutellaro, Joan Walsh, Giulio Prisco, Ken Linde, Laksman Frank, Maria Ellis, Nanda Barker-Hook, Sandi Dube, Sarah Black, Sarah Brangen ve Sarah Reed dahil tüm KurzweilAI.net takımına;

Tüm düşünceli uzmanlıkları için Clare Derraro (genel müdür), Carolyn Coleburn (reklam direktörü), Yen Cheong ve Langan Kingsley (reklamcılar), Nancy Sheppard (pazarlama direktörü), Bruce Giffords (üretim editörü), Kyle Davis (yayın asistanı), Fabiana Van Arsdell (üretim direktörü), Roland Ottewell (baskı direktörü), Daniel Lagin (tasarımcı) ve Julia Thomas (kapak tasarımcısı) dahil kendini adamış tüm Viking Penguin ekibine;

Fikirleri, hevesleri ve girişimci enerjileri için Singularity Üniversitesi'ndeki tüm çalışma arkadaşlarıma;

Bu cilde yansımış olan ilham verici fikirleri için Barry Ptolemy, Ben Goertzel, David Dalrymple, Dileep George, Felicia Ptolemy, Francis Ganong, George Gilder, Larry Janowitch, Laura Deming, Lloyd Watts, Martine Rothblatt, Marvin Minsky, Mickey Singer, Peter Diamandis, Raj Reddy, Terry Grossman, Tomaso Poggio ve Vlad Sejnoha dahil tüm iş arkadaşlarıma;

Ben Goertzel, David Gamez, Dean Kamen, Dileep George, Douglas Katz, Harry George, Lloyd Watts, Martine Rothblatt, Marvin Minsky, Paul Linsay, Rafael Reif, Raj Reddy, Randal Koene, Dr. Stephen Wolfram ve Tomaso Poggio dahil tüm uzman okuyucularıma;

Yukarıda isimleri görünen tüm kurum içi ve alaylı okuyucularıma;

Ve son olarak her gün bana ilham veren dünyadaki tüm yaratıcı düşünürlere minnettar olduğumu belirtmek istiyorum.

Giriş

Beyin, gökyüzünden daha geniş
Yan yana konulduğunda,
Biri diğerini kapsayacak
Kolayca, ve sen bir kenarda
Beyin, denizden daha derin
Tuttuğumuzda, maviden maviye
Biri diğerini içine alacak
Kovaların süngerlere yaptığı gibi
Beyin, Tanrı'nın ağırlığı belki
Kaldırdığında gram gram,
Değişecek ve değişirse
Sesten heceye gidecek.

– Emily Dickinson

Evrendeki en önemli kavram olan zekâ, doğal sınırları aşabilir, dünyayı kendi yarattığı görüntüler ile yeniden şekillendirebilir. Zekâmız, biyolojik mirasımızın getirdiği kısıtlamaları aşabilmemizi ve bu süreçte kendimizi değiştirmemizi sağladı. Bunu yapabilen tek canlı türü bizleriz.

İnsan zekâsının tarihi, bilgiyi kodlayabilen bir evrenle başlıyor. Evrenin bu becerisi evrimin gerçekleşmesini sağlayan bir etkendir. Evrenin bu şekilde çalışıyor oluşu ise başlı başına ilginç bir hikâye. Fiziğin standart modelinde dahi olmazsa olmaz onlarca sabit değer bulunuyor, bu sabitler olmadan atomlardan söz etmek mümkün değil. Hatta yıldızlardan, gezegenlerden, beyinden ve beyinler üzerine yazılmış kitaplardan. Fizik kuralları öylesine titiz davranıyor ki bilginin evrimleşmesine olanak sağlaması ihtimal dışı gibi görünüyor. Fakat antropik ilkeye göre de eğer fizik kuralları bu şekilde işliyor olmasaydı bu sa-

bit değerler hakkında konuşuyor olamazdık. Konuyla ilgili bazı insanlar kutsal bir yaratıcı olduğunu düşünürken, bazıları çoklu evren oluşumu ile evrimleşen ya da yok olan, sıkıcı (pek bilgi vermeyen) evrenler görüyor.

Evrimin hikâyesi açığa çıkarken artan soyutlama seviyelerini beraberinde getiriyor. Atomlar, özellikle de dört farklı şekilde bağ oluşturabilen karbon atomları, oldukça karmaşık moleküller yarattı. Dolayısıyla fizik, kimyanın oluşumuna ortam hazırladı.

Bir milyar yıl sonra, DNA adı verilen karmaşık molekül oluştu. DNA'yı oluşturan iplikler üzerinde bulunan bilgi, "programa" göre, kusursuz bir biçimde işlendiğinde organizmalar oluştu. Bu şekilde kimya, biyolojiyi ortaya çıkardı.

Gittikçe artan bir hızda, organizmalarda sinir sistemi adı verilen iletişim ve düşünce ağları evrimleşti. Sinir sistemi, organizmaların gitgide karışık bir hal alan vücutlarını ve davranışlarını birbirine göre ayarlayarak organizmaların hayatta kalmasını kolaylaştırdı. Sinir sistemini oluşturan nöronlar* beyne yerleşerek organizmaların davranışlarını geliştirdi. Bu şekilde biyoloji sinirbilime ortam hazırladı. Bulunduğumuz noktada beyin, bilgi depolama ve bilgi yönetimi konularında son derece önemli bir yere sahip. Böylelikle atomlardan moleküllere, oradan DNA'ya ve beyne kadar geldik. Bir sonraki adım tabii ki insandı.

Memeli beyni diğer hayvanlardan farklı olarak belirgin bir yeteneğe sahiptir. Bizler *hiyerarşik* düşünme denen olguya sahibiz. Çeşitli elementlerden oluşan ve belirli bir şekil hâlinde düzenlenen yapıyı anlıyor, bu düzeni bir sembolle gösteriyor ve bu sembolü de daha sonra daha detaylı bir kurulumun içindeki bir element olarak kullanabiliyoruz. Bu beceri beyinde neokorteks** adı verilen ve belirli bir bilme seviyesine ulaşmamızı hatta bahsedilen şekilleri *düşünce* olarak adlandırmamızı sağlayan bölgede yer alıyor. Sürekli tekrar eden dolayısıyla sonu gelmeyen bir süreç sayesinde daha karmaşık düşünceler oluşturabiliyoruz. Tekrar eden ve birbirine bağlanan bu engin düşünce dizilimlerini *bilgi* olarak tanımlıyoruz. Sadece *Homo Sapiens* kendi kendine gelişen, hızla büyüyen ve bir jenerasyondan bir sonrakine aktarılan bir düşünce temeline sahip.

Beynimiz de bir başka kavrama ortam oluşturdu. Sahip olduğumuz zekâ ile diğer parmaklardan ayrılmış olan başparmağı kullanarak yaşam alanımızı daha verimli kullanmaya ve çeşitli aletler üretmeye başladık. Sinirbilim tekno-

(*) Sinir hücreleri – ç.n.
(**) Beynin en dış tabakası, beyin zarı – ç.n.

lojiye ortam hazırladıkça ürettiğimiz aletler daha farklı bir evrimleşme şekli gösterdi. Aletlerimiz sayesinde bilgi birikimimiz sınır tanımaksızın gelişti.

İlk keşfimiz hikâyeydi: konuştuğumuz dil fikirlerimizi daha farklı şekillerde ifade etmemizi sağladı. Daha sonra yazılı dilin keşfiyle fikirlerimizi sembolize edecek şekilleri yani harfleri geliştirdik. Kütüphanelerde bulunan yazılı eserler sayesinde beynimiz (yalnız başına), yinelemeli düşüncelerden oluşan bilgi temelimizi korudu ve geliştirdi.

Başka canlı türlerinin örneğin şempanzelerin hiyerarşik düşüncelerini dil yoluyla ifade edip edemediği konusunda bazı tartışmalar var. Şempanzeler eğitmenleriyle iletişim kurma amacıyla bazı işaret dili sembollerini öğrenebiliyorlar. Ancak şempanzelerin üstesinden gelebileceği bilgi yapısının belirli bir sınırı var. İşaret diliyle kurabildikleri cümleler basit isim-fiil kalıplarından ibaret, insanların kurabileceği karmaşık cümleleri oluşturmaları mümkün değil. İnsanın yaratabileceği dolambaçlı dil yapısına ve birkaç sayfalık cümlelere örnek olarak Gabriel García Márquez'in bir cümleden oluşan altı sayfalık* "Hayalet Geminin Son Gezisi" adlı öyküsünü okuyabilirsiniz.[1] Bu öykü İngilizce çevirisinde de İspanyolcada olduğu kadar rahat anlaşılabiliyor.

Teknoloji üzerine yazdığım ilk üç kitabımda (*The Age of Intelligent Machines,* 1980'lerde yazılıp 90'larda yayımlandı; *The Age of Spiritual Machines* 90'ların sonuna doğru yazılıp 1999'da yayımlandı; *Singularity is Near* 2000'lerin başında yazıldı, 2005'te yayımlandı) bahsettiğim temel nokta; evrimsel sürecin hızlanması, kalıcı değişiklikler yaratması (ve bunun sonucunda birçok yeni kavramın ortaya çıkması) ve oluşan ürünlerin sayısının, karmaşıklığının ve becerilerinin artmasıydı. Ben bu olaya ivmelenen geri dönüşler kanunu (İGDK) adını veriyorum. Bu olay, biyolojik evrimde de teknolojik evrimde de aynı şekilde gözlemleniyor. İGDK'nin en etkileyici özelliği ise hiç şüphesiz, bilgi teknolojilerinin fiyat/performans oranı ile kapasitesinin her geçen gün katlanarak artmasıdır. Teknolojinin evrimi tabii ki bilgisayarı ortaya çıkardı ve bilgisayar da farklı alanlardaki bilgiler arasında geniş bağlantılar kurarak şu anki bilgi birikimimizin alanını genişletti. Web (ağ) bile kendi başına hiyerarşik bir sistemin kendi yapısını korurken bilgiyi nasıl çepeçevre sarabildiğini gösteren oldukça güçlü bir örnek. Dünya da aslında oldukça hiyerarşik yapılara sahip; ağaçlar dalları, dallar yaprakları ve yapraklar da damarları üzerinde bulunduruyor. Binalar katlardan, katlar odalardan, odalar ise pencerelerden, duvarlardan, kapılardan oluşuyor.

(*) İspanyolca aslında ve İngilizce çevirisinde bu alıntı bir cümle ile yazılmış olsa da, Türkçe çevirilerinde cümle birkaç cümleye bölünerek verilmiştir. Burada da bu çevirilerden biri kullanılmıştır – ç.n.

Kendi biyolojimizi anlamaya yarayacak aletler de ürettik ve bu aletleri kullanarak doğru bilgiler elde etmeye çalışıyoruz. Biyolojinin dolayısıyla beynimizin mekanizmaları altında yatan bilgileri tersine mühendislik yoluyla çözümlüyoruz. Yaşamın kodu insan genomu hâlinde elimizde bulunuyor, bu öyle bir başarı ki başlı başına "katlanarak büyüme"ye örnek teşkil ediyor. Geçtiğimiz 20 yıl boyunca elde ettiğimiz sekanslanmış genetik bilgi miktarı her yıl iki katına çıktı.[2] Bir baz çifti dizisinden elde edilecek amino asit dizisinin ne şekilde katlanarak üç boyutlu proteinlere dönüştüğünü, ki bu katlanmalar da biyolojiyi inşa ediyor, şu an bir bilgisayar programında simüle edebiliyoruz.[3] Proteinler biyolojinin yapıtaşları olduğundan tüm bu gelişmeler oldukça büyük önem taşıyor. Proteinlerin üç boyutlu ortamda aldığı şekilleri bilgisayar ortamında simüle ettikçe, kullanabileceğimiz sayısal kaynakların sayısı da artıyor. Buna ek olarak proteinler arası atomik kuvvetlere göre proteinlerin birbirleriyle nasıl etkileşim içinde olduğunu da bilgisayar ortamında gözlemleyebiliyoruz. Biyolojiyi her geçen gün daha çok anlıyor olmamız evrimin zekice sırlarını keşfetmemiz için önemli bir nokta çünkü bu biyolojik bilgilerden esinlenerek çok daha akıllı teknolojiler üretebiliyoruz.

Binlerce bilim insanı ve mühendis şu anda büyük bir proje üzerine çalışıyor, akıllı bir sürecin elimizdeki en iyi örneği: insan beyni. İnsan beynini anlamaya çalışmak muhtemelen zekâmızla kurmuş olduğumuz insan-makine medeniyetinin en büyük kazanımlarından biridir. *The Singularity Is Near* adlı kitabımda ivmelenen geri dönüşler kanununun bir sonucu olarak insanlardan daha zeki türlerin ortaya çıkmasının mümkün olmadığını savundum. Özetlemek gerekirse, eğer bu türler yaşıyor olsaydı onları fark ederdik zira toplumun ilkel teknolojiden kendi gezegenini aşan teknolojiye doğru giderken arada geçen görece kısa zamanı hesaba kattığımızda (1850'lerde Amerika'da bir haberi iletmenin en hızlı yolu at süren postacılardı, Pony Express) onları fark etmemiz kaçınılmaz olurdu.[4] Bu bakış açısıyla yaklaştığımızda, tersine mühendislik yöntemleri kullanarak insan beyninin incelenmesinin dünyamızda şu anda en önemli proje olarak görüldüğü söylenebilir.

Bu projenin amacı, insan beyninin tam olarak nasıl çalıştığını anlamak, daha sonra elde ettiğimiz bilgileri kullanarak kendimizi daha iyi tanımak, gerektiğinde beyni tedavi etmek, ve –kitabın içeriğine en uygun olan– daha da akıllı makineler üretmek. Şunu unutmayalım ki herhangi bir doğal olayı ciddi anlamda büyütmek tam olarak mühendisliğin yaptığı şeydir. Örnek olarak, görece zor anlaşılan Bernoulli prensibini düşünelim. Bu prensip, hareket hâlindeyken kavisli yüzeylerdeki hava basıncının, düz yüzeylerdeki

hava basıncından biraz daha az olduğunu belirtir. Kanatların havalanmasının matematiksel açıklaması bilim insanları arasında tam olarak yerleşmiş değilse de mühendislik dünyası bu ince görüşü alarak güçlü tarafları üzerine yoğunlaşmış ve havacılığa olanak sağlamıştır.

Bu kitapta zihnin şekil tanıma teorisi (ZŞTT) olarak tanımladığım bir tez ortaya koyuyor ve bu teorinin neokorteksin (beyinde algı, hafıza ve kritik düşünceden sorumlu bölge) basit algoritmasını nasıl açıkladığını anlatıyorum. Gelecek bölümlerde, şimdilerde yapılan sinirbilim araştırmaları kadar kendi düşünme deneylerimizin de bu metodun kaçınılmaz bir şekilde nasıl neokorteks boyunca kullanıldığını gösterdiğini açıklıyorum. ZŞTT ile İGDK'yi birleştirip, farklı çıkarımlarda bulunarak ve bu teoriler üzerinde mühendislik metotları uygulayarak zekâmızın sınırlarını zorlayabilecek ve genişletebileceğiz.

Aslında bu süreç şu anda gerçekleşiyor. Önceleri insanların yapması gereken yüzlerce işi şu anda bilgisayarlar sayesinde çok daha az hata payıyla ve çok daha geniş bir ölçekte yürütebiliyoruz. Her e-posta attığınızda ya da cep telefonuyla bir arama yaptığınızda akıllı algoritmalar bilgiye uygun bir yol çizer. Bir elektrokardiyogram bilgisayarlar tarafından doktorlarla boy ölçüşecek kadar iyi teşhis edilebilir. Aynı durum kan hücreleri resimleri için de geçerlidir. Akıllı algoritmalar kredi kartı sahtekârlığını otomatik olarak algılar, bir uçağın kalkış ve inişini gerçekleştirir, akıllı silah sistemlerini kontrol eder, akıllı bilgisayarlar hazırlanmış tasarımlara rehberlik eder, o anki sayım çizelgesini takip eder, robotik fabrikalarda parçaları birleştirerek ürünleri oluşturur ve satranç gibi ve hatta Go gibi zor oyunları usta seviyelerde oynayabilir.

Milyonlarca insan Watson adındaki IBM bilgisayarın bir dil oyunu olan *Jeopardy!* oynadığını ve hatta dünyadaki en iyi iki insan oyuncudan daha yüksek bir puan aldığını gördü. Buradaki önemli nokta Watson'ın *Jeopardy!* oyunundaki (ki oyunda kelime oyunları ve mecaz anlamlar da mevcut) okuma ve "anlama" konusundaki başarısı bir yana, yüz milyonlarca sayfa arasından ihtiyacı olan bilgiyi arayıp Vikipedi gibi doğal bir dille yazılmış ansiklopedileri de taraması ve ihtiyaç duyduğu bilgiyi bulması olmuştur. Oyunu kazanmak için insanın entelektüel birikiminin her alanında tarih, bilim, edebiyat, sanat, kültür dahil her alanında sanal olarak uzmanlaşması gerekmişti. IBM şu anda Nuance Speech Technologies, (önceki adıyla ilk şirketim olan Kurzweil Bilgisayar Ürünleri) ile Watson'ın tıbbi literatürü (tüm tıbbi dergiler ve önde gelen tıbbi bloglar) okuyabilecek yeni bir versiyonu üzerinde çalışıyor. Bu şekilde Watson, Nuance'ın klinik dil algılama teknolojisini kullanarak teşhis uzmanı ve uzman danışman konumuna gelebilecek. Bazı

gözlemciler Watson'ın *Jeopardy!*'yi ya da okuduğu ansiklopedileri tam olarak "anlamadığını" sadece "istatistiki analizler" yaptığını öne sürdüler. Burada bahsetmek istediğim önemli bir nokta var, yapay zekâ alanında kullanılan matematiksel teknikler (örneğin Watson'da ve iPhone asistanı Siri'de kullanılan) biyolojide neokorteksi oluşturan metotlara matematiksel açıdan son derece benziyor. Eğer bir dili ya da herhangi başka bir şeyi istatistiksel analizler tarafından anlamak gerçek anlama olarak kabul görmüyorsa, insanların da anlama yeteneğinin olmadığını söylememiz gerekir.

Watson'ın akıllı bir şekilde doğal dilde yazılmış belgelerdeki bilgiyi öğrenebilme kabiliyeti, yakında bir arama motoru olarak karşınıza çıkacak. İnsanlar şimdiden telefonlarına doğal dilde (bir insanla konuşuyor gibi konuşmak) konuşabiliyorlar (örneğin Siri'yi kullanarak, ki Siri de Nuance'ın katkılarıyla yaratılmıştır). Watson'ınki gibi metotları daha çok kullandıkça ve Watson da kendini geliştirmeye devam ettikçe bu doğal dil asistanları olduklarından daha da akıllı araçlar hâline gelecekler.

Google'ın sürücüsüz arabaları Kaliforniya'nın kalabalık caddelerinde 200.000 mil yol kat etti bile (bu rakam muhtemelen bu kitap sanal ve gerçek raflarda yerini aldığında çok daha yüksek olacak). Bugünün dünyasında bile birçok yapay zekâ örneği varken ufukta kim bilir neler var?

İGDK'ye örnek oluşturacak bir başka durum da beyin taramalarının mekânsal çözünürlüğünün ve taramalar sonucu elde ettiğimiz bilgi miktarının her yıl ikiye katlanmasıdır. Ayrıca, bu veriyi çalışma modellerine ve beyin bölgelerinin simülasyonlarına dönüştürebildiğimizi de gösteriyoruz. Tersine mühendislik metotlarını kullanarak sesle ilgili verilerin işlendiği bölge olan işitme korteksinin, gördüklerimizin işlendiği görme korteksinin, bazı yeteneklerimizin (uçan bir topu yakalamak gibi) işlendiği beyincik bölgesinin ana işlevlerini inşa etmeyi başardık.

Serebral neokorteksi (beyin zarı) tersine mühendislik metotlarıyla incelemek insan beynini anlama, modelleme ve simüle etme projesinin neredeyse en önemli kısmıdır, çünkü hiyerarşik düşüncelerimiz bu bölgede oluşur. İnsan beyninin % 80'ini oluşturan serebral korteks tekrar eden yapılardan oluşur ve bu sayede insanların gelişigüzel, karmaşık yapılarda fikirler üretmesini sağlar.

Zihnin şekil tanıma teorisini açıklarken biyolojik evrim sayesinde ortaya çıkan bir yapı sayesinde insan beyninin nasıl böylesine karmaşık düşünceler üretebildiğinden bahsedeceğim. Beyin zarında var olan mekanizmalarda tam olarak anlamadığımız bazı kısımlar var fakat bu mekanizmaların ne gibi görevleri yerine getirmeleri gerektiğini az çok biliyoruz. Dolayısıyla, aynı

amaca hizmet edecek algoritmalar tasarlayabiliriz. Neokorteksi anlamaya başladığımızda tıpkı havacılık dünyasının Bernoulli prensibini kullanarak yaptığı gibi bizler de neokorteksin gücünü daha büyük ölçeklere çekebiliriz. Neokorteksin operasyon sistemi hiç şüphesiz dünyadaki en önemli sistemdir, zira neokorteks bilgi ve becerileri temsil ediyor ve yeni bilgiler yaratabiliyor. Dolayısıyla, şimdiye dek yaratılmış olan romanlardan, şarkılardan, tablolardan, bilimsel keşiflerden ve insan düşüncesinin muhtelif diğer ürünlerinden tam anlamıyla neokorteks sorumludur.

Sinirbilim dünyasında günlük olarak yazılan çizilen alakasız ve ucu bucağı olmayan tüm bilgileri bir çatı altında toplayacak bir teoriye ihtiyaç var. Hatta tüm temel bilim alanlarında böylesine birleştirici teoriler fazlasıyla büyük önem taşıyor. Birinci Bölüm'de iki hayalperestin nasıl olup da önceleri oldukça düzensiz ve birbirlerinden farklı görünen biyoloji ve fizik bilimlerini birleştirdiklerini ve sonrasında böylesi bir teorinin beynin peyzajına nasıl uydurulabileceğini anlatacağım.

Bugün insan beyninin karmaşasının hayranlıkla kutlandığını görüyoruz. Bu konu üzerine yapılan alıntıları Google'da aradığımızda 30 milyon küsur sonuç elde ediyoruz. (Ulaştığımız bağlantıların kaç tanesinin gerçekten söylenmiş bir söz içerdiğini hesaplamak mümkün değil çünkü bazı sitelerde birden fazla alıntı varken bazıları arama sonuçlarında görünse de hiç alıntılanmış söz içermiyor.) James D. Watson 1992'de şöyle yazıyor: "beyin şimdiye kadar evrende keşfettiğimiz en karmaşık şey, sınırları zorlayan sonuncu ve en büyük biyolojik yapı." Neden böyle düşündüğünü açıklarken de "yüz milyarlarca hücre birbirleri arasında trilyonlarca bağlantı kuruyor. Beyin insanı hayrete düşürecek bir organ" diyor.[5]

Watson'a beynin sınırları zorlayan bir yapı olduğu konusunda katılıyorum ancak beynin milyarlarca hücreden oluşması ve trilyonlarca bağlantı kuruyor olduğu gerçeği, eğer bu hücrelerin oluşturduğu anlaşılır (ve tekrar yaratılabilir) şekilleri, bağlantıları, özellikle gereksiz olanları anlayıp tanımlayabilirsek beyni karmaşık kılmaz.

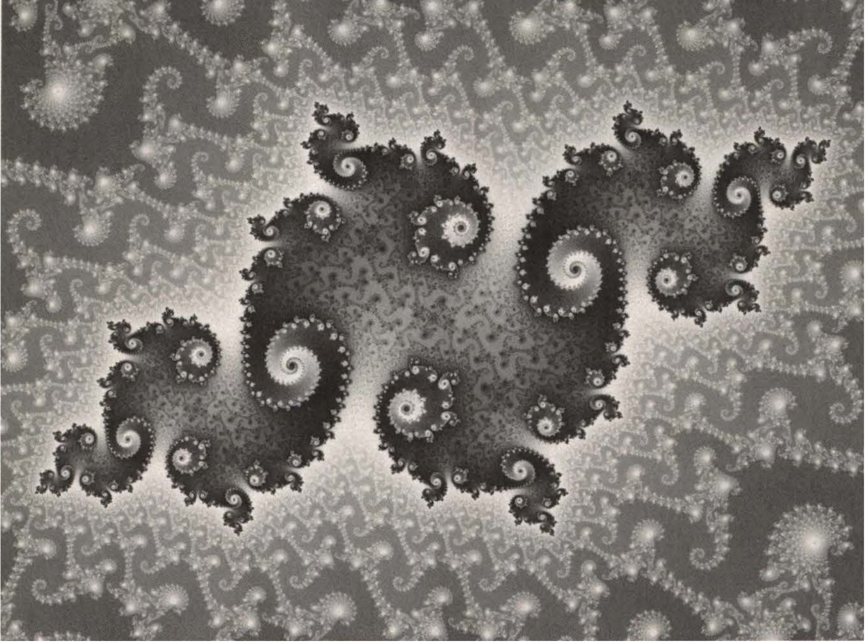
Öncelikle karmaşık olmanın ne anlama geldiğini düşünelim. Bir ormanın karmaşık olup olmadığını sorabiliriz. Cevabımız bakış açımıza göre değişebilir. Ormanın içinde binlerce ağaç olduğunu ve her birinin birbirinden farklı olduğunu söyleyebilirsiniz. Daha sonra her ağacın binlerce dalı olduğunu ve bu dalların da birbirinden tamamen farklı olduğunu söyleyebilirsiniz. Sonra da bir dalın üzerindeki bir sürü kıvrımı tanımlamaya çalışabilirsiniz. O zaman ormanın hayal edebileceğimizin ötesinde bir karmaşıklığa sahip olduğunu söyleyebilirsiniz.

Ormanı ağaçlardan ibaret görmek oldukça başarısız bir yaklaşım olurdu. Tabii ki ağaçlar ve dallar arasında çok fazla parçalı kırılma var fakat ormanın kurallarını doğru bir şekilde anlamak için en iyisi belirli fazlalık şekillerini orada bulunan rastgele çeşitliliğe göre incelemek olurdu. Orman kavramının ağaç kavramından daha kolay olduğunu söyleyebiliriz.

Bahsettiğimiz aşırı fazlalık beyinde özellikle de neokortekste mevcut. Bu kitapta da tarif edeceğim gibi, tek bir sinir hücresinin karmaşasının bütün bir neokorteks yapısının karmaşasından daha fazla olduğunu söylersek yanlış yapmış olmayız.

Bu kitabı yazarkenki amacım, beynin ne kadar karmaşık olduğunu anlatan milyonlarca alıntıya bir yenisini eklemek değil; sizleri beynin basitliğinin gücüyle etkilemektir. Bunu yapmak için; tanıma, hatırlama, bir şekli tahmin etme gibi neokortekste milyonlarca kez tekrar edilen basit ve becerikli mekanizmaların, düşünce çeşitliliğimize nasıl yol açtığını anlatacağım. Nasıl ki canlıların çeşitliliği nükleer ve mitokondriyal DNA'da bulunan genetik kodların farklı kombinasyonlarda bir araya gelmeleriyle oluşuyorsa, düşüncelerin, fikirlerin, bağlantı şekillerine ya da sinaptik güce bağlı olarak oluşan yeteneklerin şaşırtıcı çeşitliliği de neokortikal şekil tanımlayıcılar sayesinde oluşuyor. MIT'de bir sinirbilimci olan Sebastian Seung'un söylediği gibi, "Kişiliğimiz genlerimizde değil, beyin hücrelerimiz arasındaki bağlantılarda yatıyor."[6]

Sözde karmaşa ile gerçek karmaşayı birbirinden ayırt etmemiz gerekiyor. Ünlü Mandelbrot kümesini düşünün, karmaşanın sembolü olagelmiş bir resim. Görünür karmaşasını fark edebilmek için resmi yakınlaştırın (resme bu sonnottaki bağlantı üzerinden ulaşabilirsiniz).[7] Çapraşıklığın içinde sonu gelmez bir çapraşıklık var ve hepsi birbirinden farklı karmaşalar. Bunun yanı sıra, Mandelbrot kümesinin oldukça basit bir tasarımı –formülü– var. Altı karakter uzunluğunda bir formül: $Z = Z^2 + C$ formüldeki Z "karmaşık" sayı (yani $Z = a + bi$ gibi bir sayı) ve C de sabit bir değer. Mandelbrot fonksiyonunun ne kadar basit olduğunu görmek için fonksiyonu tamamen anlamak gerekmiyor. Bu formül itere edilerek hiyerarşinin her basamağına uygulanıyor. Aynı şey beyin için de geçerli. Beynin iterasyon fonksiyonu bu altı karakterli formül gibi basit değil fakat beynin karmaşası üzerine yazılan milyonlarca cümlenin akla getirdiği kadar karmaşık da değil. Neokortikal tasarım da Mandelbrot kümesi gibi neokorteksin yansıttığı kavramsal hiyerarşinin her basamağında tekrar ediliyor. Bu kitaptaki amacımı Einstein oldukça açık bir şekilde ifade etmişti; "herhangi bir zeki, ahmak olayları daha büyük ve daha



Mandelbrot kümesinin bir gösterimi, iterasyon uygulanan basit bir formül. Görüntüyü büyüttüğünüzde oldukça karmaşık şekillerde değiştiğini görürsünüz.

karmaşık bir hâle getirebilir... fakat... tersi yönde ilerlemek için de çok cesur olmak gerekir."

Şimdiye kadar beyinden bahsediyordum. Peki ya zihin? Örneğin problem çözen bir neokorteks nasıl bilinç kazanıyor? Hazır konuya değinmişken, beynimizin içinde kaç tane bilinçli zihin var? Birden fazla zihnimizin olabildiğini öne süren bazı kanıtlar yok değil.

Zihinle ilgili bir diğer soru ise özgür iradenin ne olduğu. Hatta acaba özgür irademiz var mı? Bazı deneyler karar aldığımızın farkında olmadan kararlarımızı uyguladığımızı gösteriyor. Bu örnek özgür iradenin bir ilüzyon olduğunu gösterir mi?

Son olarak, beynimizin hangi özellikleri kişiliğimizi oluşturuyor? Ben altı ay öncekiyle aynı insan mıyım? Aslında tam olarak altı ay önceki insan değilim fakat aynı kişiliğe mi sahibim?

Zihnin şekil tanıma teorisinin bu eskimiş sorulara nasıl cevap verdiğini gözden geçireceğiz.

BİRİNCİ BÖLÜM

Dünyadaki Düşünme Deneyleri

Darwin'in doğal seleksiyon (seçilim) teorisi düşünce tarihinde çok geç yer aldı.

Ortaya çıkan doğrulara karşı çıktığı için mi, bilim tarihi için son derece yeni bir konu olduğu için mi, yalnızca canlı varlıkların bir özelliği olduğu için mi yoksa bir yaratı eylemi öne sürmeden amaç ve sonuçlar üzerine yoğunlaştığı için mi? Hiç sanmıyorum. Darwin basit bir şekilde seleksiyonun rolünü keşfetti, seleksiyon o zamana kadar bilimde var olan çek-bırak mekanizmalarından çok farklı bir nedensellik çeşidiydi. Canlıların olağanüstü çeşitliliğinin sebebinin, varlıklarını sürdürmeye yarayan ve muhtemelen gelişigüzel ortaya çıkan yeni özellikler sayesinde açıklanabileceğini düşündü. Fizik ya da biyoloji biliminin seleksiyon teorisinin canlıların çeşitliliğine sebep olma yolunu gölgelediği ya da tıkadığı bir nokta olmadı.

– B. F. SKINNER

Zihninizin bütünlüğü dışında hiçbir şey kutsal değildir.

– RALPH WALDO EMERSON

BİR JEOLOJİ METAFORU

19. yüzyılın başlarında yer bilimciler temel bir soru üzerine kafa yordu. Amerika'da bulunan Büyük Kanyon ve Yunanistan'da bulunan Vikos Gorge (dünyada bilinen en derin kanyon) gibi oldukça büyük kanyon ve mağaralar dünyanın dört bir yanında mevcut. Peki bu inanılmaz yer şekilleri nasıl oluştu?

Şüphesiz, bir su akışı doğal yapıların arasından ilerleme imkânı bularak bu yer şekillerine sebep olmuş gibi görünüyor fakat 19. yüzyılın ortaları-

na kadar, nazik bir su hareketinin böylesine büyük vadileri ve tepeleri şekillendirebileceği fikri oldukça absürt karşılanıyordu. Öte yandan, İngiliz yer bilimci Charles Lyell (1797-1875), bu devasa yer şekillerinin çok uzun yıllar süren su akışı yüzünden, bir kerede bir kaya taneciğinin kazılmasıyla oluştuğunu ileri sürdü. Bu önerme, başta alayla karşılansa da yirmi yıl içinde geniş çapta kabul gördü.

Bilimsel çevrelerin Lyell'ın bu radikal tezine verdiği tepkiyi dikkatle takip eden bir kişi de İngiliz doğa bilimci Charles Darwin'di (1809-1882). 1850'lerde biyoloji alanındaki durumu düşünün. Biyoloji alabildiğine çetrefilli, her biri pek çok karışıklık yaratan sayısız hayvan ve bitki türüyle karşı karşıyaydı. Çoğu bilim insanı doğanın bu akıl almaz çeşitliliğini açıklayacak birleştirici bir teoriye karşı direniyordu. Bu çeşitlilik, konu üzerine uzmanlaşabilecek bilim insanlarının dehasının yanı sıra Tanrı'nın yaratma gücünün görkemini temsil eden bir ahit olarak görülüyordu.

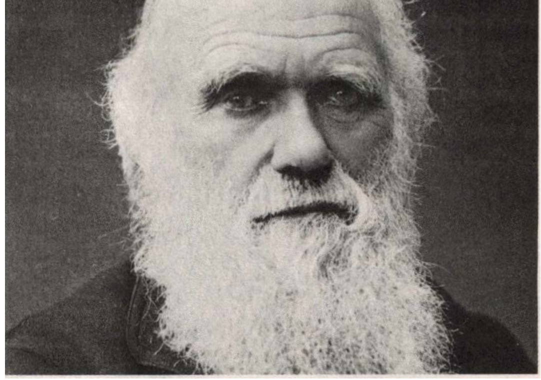
Darwin, türler üzerine genel bir teori oluşturma sorununa Lyell'ın önermesiyle benzerlikler kurarak yaklaştı, bu şekilde nesiller boyunca türlerde gerçekleşen kademeli değişimleri bir dayanağa oturtabilirdi. Bu görüşünü ünlü *Beagle Yolculuğu*'nda düşünme deneyleri ve gözlemleriyle birleştirdi. Darwin, her nesildeki bireylerin kendi ekolojik çevrelerine en iyi uyum sağlayanlarının bir sonraki nesli oluşturacak bireyler olduğunu savunuyordu.

22 Kasım 1859'da Darwin'in kitabı *Türlerin Kökeni* satışa çıktı ve Darwin Lyell'a olan borcunu şu şekilde açıkladı:

> Yukarıda hayal gücüne dayalı örneklerle anlatılan doğal seleksiyon doktrininin Sir Charles Lyell'ın 'jeoloji örnekleri, yeryüzündeki modern değişimler' konusundaki görüşlerine yapılan itirazlara açık olduğunun oldukça farkındayım. Fakat şu an kıyı dalgalarının, küçük ve önemsiz kocaman vadilerin ya da iç kısımlardaki upuzun yamaçların oluşumuna sebep olan hareketlerini duymuyor, görmüyoruz. Doğal seleksiyon yalnızca koruma ve kalıtımla kazanılan son derece küçük değişiklikler (modifikasyonlar) sayesinde etkir, ki bu modifikasyonların her biri korunmuş bireyi oluşturur. Doğal seleksiyon, tıpkı modern jeolojinin kocaman bir vadiyi tek bir su kanalının oluşturduğu düşüncesini yalanladığı gibi, eğer doğru bir prensip ise, devamlı organik bireylerin yaratılışı inanışından uzaklaşacak ve bu bireylerin yapısında ani ve büyük değişimler olmadığını gösterecektir.[1]

Yeni ve büyük fikirlere karşı böylesine direnildiğini açıklayan birkaç neden var ve Darwin'in durumunda bu nedenleri tanımlamak pek zor değil. Tanrı'nın insanlığı yaratması yerine maymundan ve hatta ondan da önce so-

lucandan gelmemiz eleştirmenler tarafından hoş karşılanmadı. Evcil köpeğimizin, ya da aynı şekilde bir tırtılın kuzenimiz olması, hatta bitkilerin yürümeye başlaması (muhtemelen bir milyon ya da bir milyarıncı kuzenimiz, çok uzaktan da olsa hâlâ akrabamız) birçoklarınca dine ve Tanrı'ya küfretmek olarak algılandı.



Biyolojik evrim fikrini kuran *Türlerin Kökeni Üzerine*'nin yazarı Charles Darwin.

Fakat bu düşünce oldukça hızlı benimsendi çünkü birbiriyle bağlantısız gibi görünen gözlem ve fikir bolluğuna bir bütünlük getiriyordu. 1872 yılında Darwin *Türlerin Kökeni Üzerine*'nin altıncı basımına şu paragrafı ekledi:

> Bazı şeylerin önceki hâline kanıt olarak, ilerleyen paragraflarda doğa bilimcilerin her türün ayrı yaratıldığına dair görüşüyle –ki bu konuda kendi görüşlerimi açıkladığım için sansürlendim– ilgili bazı cümleleri bir kenarda tuttum. Ancak hiç şüphesiz ilk baskı çıktığında bu herkesin genel düşüncesiydi... Şimdi her şey tamamen değişti ve neredeyse tüm doğa bilimciler büyük evrim prensibini kabul ediyor.[2]

Bir sonraki yüzyıl boyunca Darwin'in bütünleyici evrim düşüncesi daha da derinleşti. 1869 yılında İsviçreli bilim insanı Friedrich Miescher (1844-1895) hücre çekirdeğinin içinde 'nüklein' (çekirdek özü) adını verdiği bir yapı keşfetti, bu yapının daha sonra DNA olduğu ortaya çıktı.[3] 1927 yılında Rus bilim insanı Nikolai Koltsov (1827-1940) 'büyük kalıtım molekülü' adını verdiği bir yapı keşfetti ve bu molekülün "birbirinin ayna görüntüsü olan iki iplikten oluştuğunu, ipliklerin şablon gibi kullanılarak, yarı korunumlu yenilendiğini (replikasyon)" öne sürdü. Onun buluşu da birçokları tarafından lanetlendi. Komünistler bunun faşist bir propaganda olduğunu düşündü ve Koltsov'un beklenmedik, ani ölümü Sovyetler Birliği'nin gizli polis servisine dayandırıldı.[4] Darwin'in ufuk açıcı kitabının yayımlanmasından yüz yıl sonra, 1953'te Amerikalı biyolog James D. Watson (1928 doğumlu) ile İngiliz biyolog Francis Crick (1916-2004) DNA yapısını ilk kez en doğru şekilde açıkladı ve iki upuzun iplik molekülünün çifte sarmal yaparak DNA'yı oluşturdu-


Watson ve Crick'in DNA yapısını ilk kez doğru bir şekilde tarif etmesini sağlayan kritik DNA fotoğrafını (X-ray kristalografi kullanarak) Rosalind Franklin çekmişti.

ğunu ileri sürdü.[5] Bu buluşun, Watson ve Crick'in iş arkadaşı Rosalind Franklin tarafından X-ray kristalografi ile çekilen fotoğraf üzerine oluşturulduğunu söylemekte fayda var. "Fotoğraf 51" olarak bilinen bu görüntü DNA'nın çifte sarmal yapısını gösteren ilk fotoğraftı. Watson-Crick modeli, Franklin tarafından çekilen fotoğraf üzerine kurulduğundan Rosalind Franklin'in de Watson ve Crick'in aldığı Nobel Ödülü'nden pay alması gerektiği düşünülmüştü.[6]

Tüm biyoloji programını kodlayan molekülün tanımlanmasıyla biyoloji alanında tüm taşlar yerine oturmuş, bir çatı altında toplanmıştı. Bu buluşlar, yaşam için basit ve şık bir temel oluşturdu. Hücre çekirdeğindeki (ya da mitokondrideki) DNA ipliklerini oluşturan baz çiftlerine göre organizma bir ot sapı ya da insan olabilirdi. Bu görüş doğanın mükemmel çeşitliliğini açıklayamadı fakat artık bu çeşitliliğin, evrensel bir molekül üzerinde kodlanabilen yapıların harika bir şekilde dağılmasıyla ilgili olduğunu anlayabiliyoruz.

IŞIK HUZMESİ ÜSTÜNDE SEYAHAT

20. yüzyılın başlarında fizik dünyası bir başka düşünme deneyi dizisiyle altüst olmuştu. Alman bir mühendis ile bir ev hanımının 1879'da bir oğlu oldu. Üç yaşına kadar konuşmadı ve dokuz yaşındayken okulda sorunlar yaşadığı bildirildi. On altı yaşındayken ay ışığı üzerinde seyahat ettiğini hayal ediyordu.

Bu genç adam, İngiliz matematikçi Thomas Young'ın (1773-1829) 1803'te yaptığı, ışığın dalgalardan oluştuğunu ispatlayan deneyini biliyordu. O zamanki varılan sonuç, ışık dalgalarının bir çeşit ortam içinde ilerlediğiydi: sonuçta okyanus dalgaları su kanalıyla ve ses dalgaları da hava ve başka maddeler üzerinden ilerliyordu. Bilim insanları ışık dalgalarının yolculuk yaptığı bu ortama "esîr" (*ether*) adını vermişti. Genç adam aynı zamanda Amerikalı bilim insanı Albert Michelson (1852-1931) ve Edward Moley'nin (1838-1923) 1887'de yaptığı esîrin var olduğunu kanıtlamaya girişen deneyden de

haberdardı. Bu deney, bir sandal ile nehirde akıntı yönünde ve akıntıya ters yüzme örneğini temel alıyordu. Eğer sabit hızla, akıntıyla aynı yönde kürek çekiyorsanız sahilden ölçülen hızınız daha fazla, eğer akıntıya karşı kürek çekiyorsanız sahilden ölçülen hızınız daha az olacaktır. Michelson ve Morley ışığın esîr içinde sabit bir hızda (yani, ışık hızıyla) ilerlediğini varsaydı. Güneş ışığı hızının, Yeryüzü yörüngesinde (bizim yeryüzündeki gözlem noktamızdan yapılan ölçüme göre) güneşe yaklaşırken ve uzaklaşırken görünen hızlarını (Dünya'nın hızının iki katı kadar) kıyaslayarak bunların birbirinden farklı olması gerektiğini düşündüler. Bu durumu kanıtlamak esîrin varlığını doğrulayabilirdi. Buna rağmen keşfettikleri şey, Yeryüzü yörünge üzerinde nerede olursa olsun Yeryüzü'ne ulaşan güneş ışığının hızında hiçbir fark olmadığıydı. Bulguları esîrin varlığının aksini kanıtlamıştı fakat gerçekte neler oluyordu? Bu soru neredeyse yirmi yıl boyunca bir gizem olarak kalacaktı.

Bu Alman genç bir ışık dalgasıyla yan yana ilerlediğini düşündüğünde, ışık dalgalarını donmuş görmesi gerektiğini düşündü, bir trenle yan yana aynı hızda gidildiğinde treni hareket etmiyormuş gibi göreceğimiz gibi. Yine de bunun imkânsız olduğunun farkına vardı, çünkü ışık hızının sizin hareketinizi dikkate almadan sabit olduğu farz ediliyor. Bu yüzden ışık hızıyla aynı hızda değil ışık hızından biraz daha düşük bir hızda gittiğini hayal etti. Işık hızının % 90'ı kadarlık bir hızla giderse ne olur? Eğer ışık huzmeleri trenler gibiyse, ışık huzmesini ışık hızının % 10'u kadarlık bir hızla önünde gider gibi görmesi gerekiyordu. Gerçekten bu, Dünya'daki gözlemcilerin görmesi gereken şey olurdu. Ancak Michelson-Morley deneyinin gösterdiği üzere, ışık hızının sabit olduğunu biliyoruz. Bu yüzden bu kişi, ışık huzmesini önünde, mutlaka ışık hızıyla gider gibi görürdü. Bu bir çelişki gibi görünüyordu – pekâlâ nasıl mümkün olabilirdi?

Sorunun cevabı, adı şans eseri Albert Einstein (1879-1955) olan genç Alman için yirmi altı yaşına girdiğinde belirginleşti. Besbelli –genç usta Einstein'a göre– zamanın kendisi yavaşlamıştı. Bu muhakemeyi Einstein, 1905'te yayınlanan bir makalede açıklıyor.[7] Eğer yeryüzündeki gözlemciler genç adamın saatine bakacak olurlarsa, saniyenin 10 kat daha yavaş ilerlediğini görürlerdi. Gerçekten de, yeryüzüne geri döndüğünde saati, dünyada geçen zamanın uzayda sadece % 10'unun geçmiş olduğunu (şu an için, hızlanma ve yavaşlamayı göz ardı ederek) görürlerdi. Bunun yanı sıra, onun bakış açısına göre, saati normal ilerliyordu ve yanındaki ışık huzmesi de ışık hızıyla hareket ediyordu. Zamanın hızının (dünya üzerindeki saatlere göre) on kat yavaşlaması, bu bakış açısında görünen uyuşmazlıkları tamamen açıklıyor. En uç

noktada yani ışık hızına ulaşıldığında, zamanın akışındaki yavaşlama tamamen durma noktasına gelirdi dolayısıyla ışık huzmesiyle yan yana gitmek imkânsızdı. Işık hızında gitmek imkânsız olsa da teorik olarak ışık huzmesinden *daha hızlı* gitmek imkânsız değildi. Bu durumda, zaman tersine akardı.

Bu çözümleme ilk eleştirmenlere oldukça absürd göründü. Yalnızca bir kişinin hareket hızını temel alarak zamanın yavaşladığı nasıl söylenebilirdi ki? Gerçekten on sekiz yıl boyunca (Michelson-Morley deneyinden itibaren), diğer düşünürler usta Einstein'a bu kadar belirgin görünen bir çıkarımı göremediler. 19. yüzyılın ikinci yarısından beridir bu sorunu değerlendiren, prensibin çıkarımlarını takip etmek yerine gerçeğin nasıl çalıştığına dair yerleşmiş kavramlara bağlı kalan diğer birçok kişi takip konusunda gerçek anlamıyla "attan düşmüşlerdi". (Galiba bu deyimi "ışık huzmesinden düşmek" olarak değiştirmeliyim.)

Einstein'ın ikinci düşünme deneyi kendini ve erkek kardeşini uzayda uçarken hayal etmekti. Birbirlerinden 186.000 mil uzaktalar. Einstein daha hızlı hareket etmek istiyor fakat bir yandan da aralarındaki mesafeyi korumak istiyor. Dolayısıyla her hızlanmak istediğinde kardeşine bir elektrik feneriyle işaret yolluyor. İşaretin kardeşine (sinyali gönderdikten) bir saniye sonra ulaşacağını bildiği için hızlanmasını başlatmadan önce bir saniye bekliyor. Kardeşi sinyali her aldığında anında hızlanıyor. Bu şekilde iki kardeş tam olarak aynı anda hızlanıyorlar ve dolayısıyla aralarındaki mesafe aynı kalıyor.

Şimdi de Yeryüzü'nde bulunduğumuzda ne göreceğimizi düşünelim. Eğer iki kardeş (Albert önde, kardeşi arkada) bizden uzaklaşırsa ışığın Einstein'ın kardeşine ulaşması bir saniyeden daha az sürüyormuş gibi görünürdü çünkü Einstein'ın kardeşi ışığa doğru ilerliyor. Ayrıca Albert'ın kardeşinin saatinin yavaşladığını görürdük (bize yaklaştıkça hızı daha çok artıyor). Bu iki sebep yüzünden iki kardeşi gittikçe birbirlerine yaklaşıyor ve sonra çarpışıyor gibi görürdük. Fakat iki kardeşin bakış açısında, kardeşler arasında sabit 186.000 mil mesafe korunuyor.

Bu nasıl mümkün olabilir? Bu sorunun cevabı *–açıkça–* aradaki uzaklığın harekete (dik bir şekilde değil de) paralel bir şekilde kısalmasıdır. Dolayısıyla Einstein kardeşler hızlanırken (başları önlerinde hareket ettikleri düşünülürse) giderek kısalıyorlar. Bu tuhaf çıkarım muhtemelen Einstein'a zamanın geçişindeki farklılığı iddia ettiği zamankinden daha büyük bir hayran kitlesi kaybettirdi.

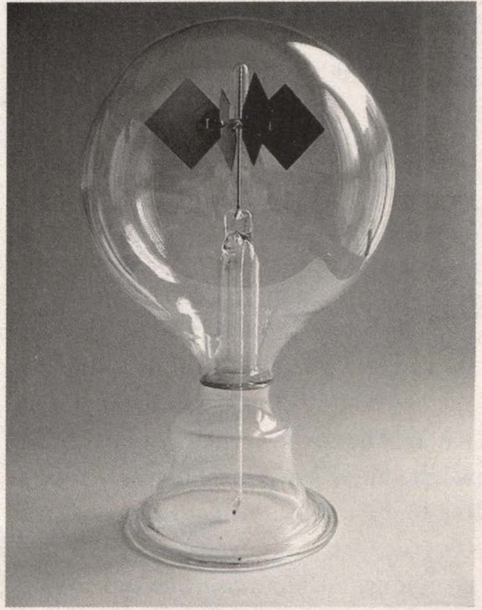
Aynı yıl içerisinde, Einstein madde ve enerji arasındaki ilişkiyi bir başka düşünsel deney ile değerlendirdi. İskoç fizikçi James Clerk Maxwell

(1831-1879) 1850'lerde foton adı verilen ışık parçacıklarının kütlesinin olmadığını fakat momentuma* sahip olduklarını gösterdi. Çocukken Crookes radyometresi[8] adı verilen bir cihazım vardı. Bu cihaz ampul şeklinde, hava geçirmeyen, kısmî vakumlu bir cam haznenin içinde bulunan ve dönebilen dört kanatçıktan oluşuyordu. Bu dört kanatçık bir aksa bağlıydı ve her kanadın bir yüzü siyah bir yüzü beyazdı. Her kanatçığın beyaz tarafı ışığı yansıtan taraf iken, kanatçıkların siyah tarafları da ışığı soğuran taraftı. (Sıcak günlerde beyaz tişörtün siyah tişörte göre daha serin hissettirmesinin sebebi de budur.) Cihaza doğru bir ışık gönderildiğinde kanatçıklar dönüyor, koyu taraflar ışıktan uzaklaşıyordu. Radyometredeki kanatçıkların hareket etmesi, fotonların yeterli miktarda momentum taşıdığının doğrudan bir göstergesidir.[9]

Einstein'ın mücadele ettiği mesele ise momentumun kütleye bağlı bir fonksiyon olmasıydı: Momentum kütle ve hızın çarpımına eşittir. Bu yüzden saatte 30 mil hızla giden bir lokomotifin momentumu, örneğin, aynı hızla hareket eden bir böceğin momentumundan çok daha fazladır. Pekâlâ, nasıl olur da kütlesiz bir parçacığın momentumu pozitif olabilir?

Einstein'ın düşünme deneyi uzayda süzülen bir kutudan oluşuyordu. Bir foton kutunun içinde sol taraftan sağ tarafa doğru ilerledi. Sistemin toplam momentumu korunmalıdır, dolayısıyla kutu foton yayıldığı anda sola doğru gelmelidir. Belirli bir zaman sonra foton, kutunun sağ tarafına çarpar ve momentumunu tekrar kutuya transfer eder. Sistemin toplam momentumu tekrar korunur, bu yüzden kutu hareketsiz kalır.

Şimdiye kadar her şey yolunda. Ancak bir de kutuyu dışarıdan gözlemleyen Bay Einstein'ın bakış açısına bakalım. Kutu üzerinde hiçbir dış etki görmüyor:



Crookes radyometresi – dört kanatlı vana, üzerine ışık geldiğinde döner.

(*) Göreli mekanikte momentum, bir cismin değişmez kütlesiyle has hızının çarpımından elde edilen vektörel bir büyüklüktür – ç.n.

–kütleli ya da kütlesiz– herhangi bir parçacık kutuya çarpmıyor, ve hiçbir şey kutudan çıkmıyor. Ancak Bay Einstein, yukarıdaki senaryoya göre kutunun kısa bir süreliğine sola doğru hareket edip sonrasında durduğunu görüyor. Bizim analizimize göre, her foton kutuyu kalıcı olarak sola doğru hareket ettirmelidir. Kutu üzerine etkiyen ya da kutudan gelen herhangi bir dış etki bulunmadığı için kutunun kütle merkezi aynı yerde kalmalıdır. Kutunun içinde olan, soldan sağa doğru hareket eden foton ise kütle merkezini değiştiremez çünkü foton kütlesizdir.

Yoksa fotonun kütlesi var mıdır? Einstein'ın çıkarımı, fotonun açık bir şekilde enerjiye ve momentuma sahip olduğu için eşdeğer bir kütlesi olması gerektiğiydi. Hareket eden fotonun enerjisi tamamen hareket eden kütlesine eşittir. Bu eşdeğerliğin ne olduğunu, sistemin kütle merkezinin fotonun hareketi boyunca sabit kalması gerektiğini düşünerek bulabiliriz. İşin matematiğini çözerek Einstein enerji ve kütlenin eşdeğer olduğunu ve basit bir sabit sayesinde birbirleriyle ilişki içinde olduklarını gösterdi. Fakat, burada önemli bir nokta vardı: Bu sabit değer basit olabilirdi ama çok yüksek bir değer olduğu ortaya çıktı; ışık hızının karesi kadar büyük bir değer (yaklaşık saniyekarede 1.7×10^{17} metrekare yani 17 sayısını takip eden 16 tane sıfır değerinde). Bu şekilde Einstein'ın ünlü formülünü elde ediyoruz $E=mc^2$.[10] Dolayısıyla bir ons (28 gram) kütle 600.000 ton TNT'ye eşdeğer. Einstein'ın 2 Ağustos 1939'da Amerikan Başkanı Roosevelt'e yazdığı mektupta atom bombası ihtimalinin bu formüle bağlı olduğunu söylemesi atom çağını başlattı.[11]

Bunun daha öncesinden belirgin olması gerektiğini düşünebilirsiniz, zira deney yapanlar radyoaktif madde kütlelerinin radyasyon sayesinde zaman içinde azaldığını biliyordu. Aksine, radyoaktif maddelerin özel, yüksek enerjili, yanan bir yakıta ya da buna benzer bir şeye sahip oldukları varsayılmıştı. Bu varsayım tamamen yanlıştı; çünkü bu "yanan yakıt" basitçe kütleydi.

Bu kitaba Darwin ve Einstein'ın düşünsel deneyleriyle başlamamın birkaç sebebi var. Öncelikle, insan beyninin olağanüstü gücünü gösteriyorlar. Kâğıt kalem dışında hiçbir araç gereç kullanmadan kâğıda basit figürler çizerek bu basit düşünme deneyleri sayesinde ortaya çıkan basit denklemleri kullanarak Einstein iki yüzyıl öncesine dayanan fizik dünyası anlayışını alaşağı edebilmiş, tarihin akışını derinden etkilemiş (İkinci Dünya Savaşı dahil) ve nükleer çağı başlatmıştır.

Einstein'ın 19. yüzyılda yapılan birkaç deneysel buluşa bağlı kaldığı doğrudur ki bu deneyler de gelişmiş araçlar kullanılmadan yapılmıştır. Ayrıca Einstein'ın teorilerinin daha sonradan deneysel olarak onaylanması için

ileri teknoloji kullanıldığı da doğrudur. Eğer bu teknoloji geliştirilmeseydi, bugün Einstein'ın düşüncelerinin doğruluğu ve önemine dair sahip olduğumuz tasdike sahip olmayabilirdik. Bununla birlikte, bu etkenler ünlü düşünme deneylerinin insan düşüncesinin gücünü en iyi şekilde açığa çıkardığı gerçeğini değiştirmiyor.

Einstein çoğunlukla 20. yüzyılın önde gelen bilim insanı (Darwin de bu onur için 19. yüzyıldaki yarışmacı olabilirdi) olarak görülüyor ve bununla birlikte teorilerinin altında yatan matematik nihayetinde o kadar karmaşık değil. Düşünme deneyleri başlı başına oldukça anlaşılır deneylerdi. Einstein'ın hangi açıdan özellikle zeki olduğu düşünülüyor diye merak edebiliriz. Daha sonra teoriler üretirken tam olarak beyniyle ne yaptığını ve bu niteliğin nereden geldiğini tartışacağız.

Diğer taraftan, Einstein'ın hikâyesi aynı zamanda insan düşüncesinin sınırlarını da gösteriyor. Einstein ışık huzmesi üzerinde düşmeden ilerleyebiliyordu (aslında, gerçekten bir ışık huzmesi üzerinde gitmenin imkânsız olduğu sonucuna varmıştı) fakat kaç bin tane gözlemci ve düşünce insanı muhteşem bir şekilde hiç karmaşık olmayan bu egzersizleri düşünme yetisinden tamamen yoksundu? Akranlarının fikirlerini ve bakış açılarını gözden çıkarmanın ya da o sınırı geçmenin zorluğu birçok insanın yaptığı ortak bir hatadır. Daha detaylı olarak tartışacağımız başka yetersizlikler de söz konusu, fakat önce neokorteksin nasıl çalıştığını inceleyelim.

BİRLEŞTİRİLMİŞ NEOKORTEKS MODELİ

Tarihin belki de en ünlü düşünme deneylerini paylaşmamın en önemli sebebi aynı yaklaşımı bir giriş niteliğinde beyin konusunda kullanmaktır. Göreceğiniz üzere, insan aklının nasıl çalıştığını bazı basit zihin deneylerimiz üzerinden anlamaya çalışırken önemli katedebiliriz. Bir konuyu düşünürken zihin deneyleri çok uygun yaklaşımlar olmalıdır.

Eğer genç bir adamın başıboş düşünceleri ve kâğıt kalemden başka bir ekipmanı kullanmıyor oluşu fizik anlayışımızı kökten değiştirmeye yettiyse bizler de daha aşina olduğumuz olaylar ile ilgili makul bir gelişme kaydedebilmeliyiz. Sonuçta, uyanık olduğumuz –hatta rüya gördüğümüz– her dakika düşünüyoruz.

Bu özdüşünüm süreci boyunca düşünmenin nasıl işlediğine dair bir model oluşturduktan sonra özdüşünümü ne derecede onaylayabileceğimizi gerçek beyinlerde yapılan son gözlemler ve bu süreci tekrar yaratan son teknoloji ürünü makineler üzerinden inceleyeceğiz.

İKİNCİ BÖLÜM

Düşünme Üzerine Düşünme Deneyleri

Ben çok nadiren kelimelerle düşünürüm. Bir düşünce gelir, ve sonrasında onu kelimelerle anlatmaya çalışabilirim.

– ALBERT EINSTEIN

Beyin elinizde tutabileceğiniz boydan boya yüz milyar ışık yılı büyüklüğünde bir evreni kavrayabilen bir buçuk kilogramlık bir cisimdir.

– MARIAN DIAMOND

Hayret uyandıran şey güneşin altındaki diğer her şeyle aynı atomlardan oluşan bir buçuk kilogramlık sade bir cismin insanların yaptığı her şeyi –aya uçmak, beyzbolda yetmiş sayı atmak, *Hamlet*'i yazmak, Taç Mahal'i inşa etmek ve hatta beynin sırlarını çözmek– gerçekte yönetmeye gücünün yetmesidir.

– JOEL HAVEMANN

Düşünme üzerine düşünmeye 1960 yılında başladım, bilgisayarı keşfetmemle aynı yıl. Bugün bilgisayar kullanmayan bir on iki yaşında çocuk bulmakta zorlanırsınız fakat o zamanlar bunlar gibi yalnızca bir avuç çocuk doğup büyüdüğüm yer olan New York şehrindeydi. Tabii ki bu ilk cihazlar elinize sığmıyordu ve ilk erişim sağladığım bilgisayar büyük bir oda kadardı. 1960'ların başında bir IBM 1620 ile erken çocukluk dönemi eğitim programında elde edilen verileri kullanarak varyans (istatistikî bir test) analizi yapabilmek için bazı programlamalar yaptım, bu Head Start programının bir önceki hâlini oluşturuyordu. Bu ulusal eğitim girişimi, yaptığımız çalışmadan faydalandı, dolayısıyla çabamızın içine hatırı sayılır bir entrika dahil oldu. Analiz edilen veri ve kullanılan algoritmalar yeterince karmaşıktı bu yüzden bilgisayarın verebileceği cevapları tahmin edemezdik. Cevaplar, tabii ki, veri

üzerinden belirleniyordu fakat tahmin edilebilir değillerdi. Öyle görünüyor ki *belirli* olmak ve *tahmin edilebilir* olmak arasındaki ayrım önemli, buna daha sonra değineceğim.

Ön panel ışıklarının algoritmanın düşünüp taşınmasını tamamlamasından hemen önce yanıp sönmesinin ne kadar heyecan verici olduğunu hatırlıyorum sanki bilgisayar derin düşüncelere dalmış gibiydi. İnsanlar bir sonraki sonuç dizesini almak için istekli bir şekilde uğradığında, nazikçe yanıp sönen ışıkları göstererek 'Düşünüyor,' derdim. Bu hem bir şakaydı hem de değildi –gerçekten cevapları düşünüp tasarlıyordu– ve grup üyeleri makineye bir kişilik yakıştırmaya başladılar. Bu belki insanî özellikleri bir makineye yakıştırmaktı fakat bu durum beni gerçekten ağırbaşlı bir şekilde düşünme ve programlama arasındaki ilişkiyi düşünmeye sevk etti.

Bildiğim bilgisayar programlarıyla kendi beynimin benzerliklerinin ne derecede olduğunu belirlemek için beynimin bilgiyi işlerken ne yapması gerektiği hakkında düşünmeye başladım. Bu araştırmaya elli yıl boyunca devam ettim. Aşağıda tarif edeceğim şey, beynin nasıl çalıştığına dair şu anki anlayışımız standart bilgisayar kavramından oldukça farklı görünecek. Buna rağmen, temel olarak beyin bilgiyi depoluyor ve işliyor ve programlamanın evrensel oluşu sebebiyle –daha sonra yine geri döneceğim bir kavram– beyin ve bilgisayar arasında görünenden daha çok paralellik var.

Ne zaman bir şey yapsam –ya da bir şey hakkında düşünsem– dişlerimi fırçalarken, mutfakta yürürken, işle ilgili bir sorunu düşünürken, orgda alıştırma yaparken ya da aklıma yeni bir fikir geldiğinde nasıl bunu başardığımı düşünürüm. Hatta yapmaya kabiliyetimin olmadığı şeyler hakkında daha çok düşünürüm zira insan düşüncesinin sınırları eşit derecede öneme sahip bir dizi ipucu sağlıyor. Düşünme ile ilgili bu kadar çok düşünmek beni biraz yavaşlatıyor olabilir fakat bu tarz özdüşünüm egzersizlerinin zihinsel metotlarımı incelememi sağlayacağı konusunda umutluyum.

Beynin nasıl çalıştığıyla ilgili farkındalığımızı artırmak için birkaç zihin deneyi düşünelim.

Bunu deneyin: *Alfabeyi okuyun.*

Bunu muhtemelen çocukluktan hatırlıyorsunuz ve kolayca yapabilirsiniz.

Tamam, şimdi şunu deneyin: *Alfabeyi tersten okuyun.*

Alfabeyi bu sırayla öğrenmediğiniz sürece tersten okumayı imkânsız bulacaksınız. İlkokulda alfabenin gösterildiği bir sınıfta kayda değer zaman geçirmiş bir kişi görsel hafızası sayesinde sınıftaki alfabeyi hatırlayıp ona ba-

karak alfabeyi tersten okuyabilir. Bu dahi zor bir eylemdir, çünkü görüntüleri bir bütün olarak hatırlayamıyoruz. Alfabeyi tersten okumak aslında basit bir işlem olmalı çünkü ileri doğru okumayla tamamen aynı bilgiye sahip fakat genellikle gerçekleştirmesi zor bir işlem.

Sosyal güvenlik numaranızı hatırlıyor musunuz? Hatırlıyorsanız bir kâğıda yazmadan bu numarayı tersten okuyabilir misiniz? 'Mary'nin kuzusu' adlı çocuk şarkısına ne dersiniz? Bilgisayarlar bunu sanal olarak yapabiliyor. Fakat bizler ters olan diziyi en başından yeni bir dizi olarak öğrenmediğimiz sürece bunu yapmada başarısız oluyoruz. Bu durum bize insan hafızasının nasıl düzenlendiğiyle ilgili önemli bir şey söylüyor.

Tabii ki bu işlemi diziyi bir kâğıda yazıp sondan başa okuduğumuzda kolaylıkla yapabiliyoruz. Bunu yaparken bir teknoloji –yazı dili– kullanıyoruz, gerçi bu oldukça eski bir araç, bu şekilde düşünmemizin kısıtlamalarını telafi ediyoruz. (Konuşma dili ilk buluşumuz iken yazı dili ikinci buluşumuzdu.) Alet icat etmemizin sebebi budur – eksikliklerimizi telafi etmek.

Bu da demek oluyor ki anılarımız ardışık ve sıralı. Hatırlandıkları sırayla anılarımıza ulaşılabilir. Anı dizilerinin sırasını tam tersi hâline getirmek elimizde değil.

Ayrıca bir anıyı ortasında bir yerden başlatmak da bizim için zor. Eğer piyanoda bir müzik parçası çalıyorsam onu ortasında rastgele bir noktasından başlayarak çalamam. Çalmaya başlayabileceğim belirli birkaç nokta var çünkü bu müzik parçası ardışık hafızamda bazı bölümler hâlinde organize edilmiş. Eğer bir bölümün ortasından başlamayı denersem ardışık belleğim devreye girene kadar parçayı bakarak çalmam gerekir.

Şimdi, bunu deneyin: *Geçtiğimiz bir iki gün içinde yaptığınız bir yürüyüşü hatırlamaya çalışın. Bu yürüyüşle ilgili neler hatırlıyorsunuz?*

Bu zihin deneyi en iyi şekilde, eğer yakın zamanda yürüyüşe çıktıysanız işe yarıyor. Örneğin bugün erken saatlerde veya dün. (Bir araba kullanma deneyiminizi düşünebilirsiniz ya da bir arazi boyunca hareket ettiğiniz herhangi bir aktivite de düşünebilirsiniz.)

Bu deneyim ile ilgili fazla şey hatırlamamanız normal. Bugün gördüğünüz beşinci kişi kimdi? (tanımadığınız insanlar da dahil.) Bir meşe ağacı gördünüz mü? Bir posta kutusu? İlk köşeden döndüğünüzde ne gördünüz? Bazı mağazaları geçtiyseniz ikincinin vitrininde neler vardı? Büyük bir ihtimalle bu soruların bazılarının cevaplarını hatırladığınız bazı ipuçları sayesinde yeniden inşa edebilirsiniz fakat bu oldukça taze bir deneyim olmasına rağmen çok az detay hatırlıyor olmanız muhtemel.

Eğer düzenli olarak yürüyüşe çıkıyorsanız geçen ay çıktığınız ilk yürüyüşü hatırlayın. (Ya da geçen ay ofise gittiğiniz ilk günü düşünün.) Büyük olasılıkla ilk yürüyüşünüzü ya da işe ilk gidişinizi hatırlayamayacaksınız, eğer hatırlarsanız da hiç şüphesiz dünkü yürüyüşünüzden daha az detay hatırlayacaksınız.

Daha sonra bilinç kavramını tartışacağım ve bilinci anılarımızla eş tutmaya eğilimli olduğumuza işaret edeceğim. Anestezi etkisindeyken bilincimizin yerinde olmadığını düşünmemizin en önemli sebebi o süreç ile ilgili hiçbir şey hatırlamıyor olmamızdır (tabii ki buna ters düşen –hatta rahatsız eden– istisnalar var). Dolayısıyla bu sabah çıktığım yürüyüşü düşündüğümüzde bu zamanın çoğunda bilincimi yitirmiş miydim? Bu makul bir soru, neredeyse gördüğüm hiçbir şeyi hatta düşündüğüm hiçbir şeyi hatırlamıyorum.

Bu sabahki yürüyüşten hatırladığım birkaç şey var. Bu kitap hakkında düşündüğümü hatırlıyorum, fakat size tam olarak ne düşündüğümü söyleyemem. Aynı zamanda bebek arabası süren bir kadın gördüğümü hatırlıyorum. Çekici bir kadın olduğunu hatırlıyorum ve bebeğin de bir o kadar sevimli olduğunu hatırlıyorum. Bu deneyimle bağlantısı olan iki düşünce hatırlıyorum: *Bebek çok sevimli, tıpkı yenidoğan torunum gibi,* ve *Bu bebek etrafındaki görsel çevreden ne gibi şeyler algılıyor?* İkisinin de ne giydiğini ya da saç renklerini hatırlamıyorum. (Karım, bunun benim için oldukça tipik bir hareket olduğunu söyleyebilir.) Görünümleriyle ilgili belirli herhangi bir şey tarif edemesem de annenin nasıl göründüğüne dair tarif edemeyeceğim bir fikrim var ve inanıyorum ki annenin resmini birkaç farklı kadın arasından seçebilirim. Dolayısıyla, annenin dış görünüşüyle ilgili hafızamda tuttuğum bir bilgi var fakat anneyi, bebek arabasını ve bebeği düşündüğümde onları görsel bir hâle getiremiyorum. Zihnimde bu olayın ne fotoğrafı ne de videosu yok. Bu deneyim ile ilgili zihnimde neyin var olduğunu tarif etmem zor.

Bundan birkaç hafta önce bebek arabası taşıyan bir başka kadını gördüğümü hatırlıyorum. Bu durumda ise kadının fotoğrafını tanıyacağımı dahi sanmıyorum. Bu anı şu an yürüyüş sonrasında olması gerekenden daha sönük.

Şimdi, hayatınızda bir kere ya da iki kere karşılaştığınız insanları düşünün. Onları açıkça gözünüzde canlandırabiliyor musunuz? Eğer bir görsel sanatçıysanız, bu gözlemsel beceriyi öğrenmiş olabilirsiniz fakat genel olarak rastgele karşılaştığımız insanları çizmek ya da tarif etmek için görsel hâle getirmek yapamayacağımız bir şey olabilir ama bir resimden onları tanımak çok daha kolay olurdu.

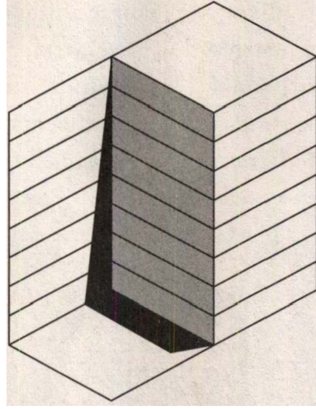
Bu durum beyinde görüntülerin, videoların, ses kayıtlarının saklanmadığını öneriyor. Anılarımız model dizileri hâlinde saklanıyor. ulaşılmayan anılar zaman içinde iyice sönükleşiyor. Polis çizim sanatçıları bir tanığı sorgularken 'Failin kaşları neye benziyordu?' diye sormazlar. Bunun yerine bir dizi kaş resmi göstererek kurbandan bir tanesini seçmesini isterler. Doğru kaş setini görmek tanığın hafızasında saklanan modelin hatırlanmasını sağlar.

Şimdi de çok iyi bildiğiniz yüzleri düşünelim. *Aşağıdaki insanlardan herhangi birini tanıyabiliyor musunuz?*



Şüphesiz bu tanıdık kişilikleri resimler örtülmüş ya da bozulmuş olsa dahi biliyorsunuz. Bu insan algısının önemli bir gücünü temsil eder: Bir şeklin yalnızca belirli bir parçası algılanabiliyor (görülebiliyor, duyulabiliyor, hissedilebiliyor) olsa bile ve hatta resim değişikliklere maruz kalmış bile olsa tanıyabiliriz. Bu tanıma becerimiz, görünüşe bakılırsa, örüntünün sabit özelliklerini –gerçek dünya varyasyonlarını alt eden özellikleri– fark edebiliyor. Bir karikatürdeki ya da empresyonizm gibi belli sanat formlarında var olan görünür bozulmalar bir görüntünün (insan, cisim) bizim tanıyabildiğimiz örüntülerini vurgular ve bu esnada diğer detaylar değişir. Açıkçası sanat dünyası insan algısal sisteminin gücünün değerini bilim dünyasından daha iyi biliyor. Bir melodiyi birkaç notadan tanıdığımızda da aynı yaklaşımı kullanırız.

Şimdi bu resme bir bakın:



Bu birden fazla şekilde görülebilen bir resim – siyah bölgeyle belirtilen köşe iç ya da dış köşe olarak algılanabilir. İlk bakışta iki farklı görünümden biri gibi algılayabilirsiniz, fakat biraz çabayla algınızı değiştirip bir diğer yoruma geçiş yapabilirsiniz. Bununla birlikte zihniniz bir anlayışa sabitlendiğinde diğer perspektifi görmek zor olabilir. (Bu durumun fikirsel bakış açıları için de doğru olduğu görülüyor.) Beyninizin görüntüyü yorumlama şekli aslında sizin deneyiminizi de etkiliyor. Yukarıdaki resimdeki siyah bölgeyi bir iç köşe olarak görürseniz beyniniz gri bölgeyi gölge olarak görecek, bu yüzden siyah bölgeyi bir dış köşe olarak gördüğünüzde gri bölge daha koyu renkli görünecek.

Dolayısıyla algımızı bilinçli olarak değiştirmek aslında yorumlarımız sayesinde değişiyor.

Görmek istediğimiz şeyi _____

Eminim, yukarıdaki cümleyi tamamlayabildiniz.

Son sözcüğü yazmış olsaydım bir anlığına o sözcüğe bakıp tahmin ettiğiniz sözcük olup olmadığını kontrol edecektiniz.

Bu da sürekli olarak geleceği tahmin ettiğimizi, neler deneyimleyeceğimizle ilgili varsayımlarda bulunduğumuzu ima ediyor. Bu beklenti asıl olarak ne algıladığımızı etkiliyor. Geleceği tahmin etmek aslında beynimizin var oluşunun ana sebebi.

Düzenli olarak hepimizin yaşadığı bir deneyimi düşünelim: Yıllar öncesine ait bir anı açıklanamaz bir şekilde bir anda aklımıza gelebilir.

Bu genellikle uzun zamandır üzerine düşünmediğiniz bir insanın ya da bir olayın anısıdır. Belli ki bir şey bu anıyı akla getiriyor. Bunu gerçekleştiren

düşünce dizisi belirgin olabilir ya da kolayca açıklayabileceğiniz bir şey olabilir. Diğer zamanlarda ise düşünce sıralamasının sizi anıya nasıl ulaştırdığını bilirsiniz fakat bu sırayı açıklamakta zorlanırsınız. Genellikle anıyı akla getiren şey çabucak kaybolur dolayısıyla anının nereden geldiği bilinmez. Ben genellikle bu rastlantısal anıları diş fırçalamak gibi rutin işler yaparken hatırlarım. Bazen bağlantının farkında olurum, örneğin diş fırçasından düşen macun üniversitede aldığım resim dersinde fırçadan düşen boyayı anımsatabilir. Bazen bağlantıyla ilgili belirsiz bir şeyler hissederim bazen de hiçbir şey hissetmem.

Konuyla ilgili herkesin sık sık deneyimlediği bir başka olay da bir isim ya da bir sözcük hatırlamaya çalışırken yaşanır. Bu durumda kullandığımız prosedür hafızanın kilidini açacak olan başlatıcı unsuru kendimize hatırlatmaya çalışmaktır. (Örneğin: Yıldız Savaşları Klonların Saldırısı filminde *Kraliçe Padme* karakterini kim canlandırdı? *Bir düşünelim, yeni çekilen dans etmekle alakalı karanlık filmde oynayan aktris oynamıştı, o film* Siyah Kuğu *filmiydi, ah evet, Natalie Portman.*) Bazen bir şeyi hatırlamak için kişiye özgü hatırlatıcı özellikleri kullanmak da yardımcı olur. (Örneğin: *Her zaman zayıf bir kadın, portly değil, ah evet, Portman, Natalie Portman.*) Bazı şeyler güçlüdür ve direkt sorudan (mesela *Kraliçe Padme'yi kim oynadı?*) yanıta ulaştıracak yeterlikte aklımızdadır. Çoğunlukla bir dizi hatırlatıcı unsur üzerinden geçeriz, ta ki içlerinden biri işe yarayana dek. Bu süreç doğru ağ bağlantısını bulmaya oldukça benziyor. Anılar, bizleri başka sayfalara bağlayan internet sayfaları gibi kaybolabilir zira bizi bu sayfalara yönlendiren hiçbir sayfa yoktur (en azından bizim bulabildiğimiz bir sayfa yoktur).

Rutin işler yaparken –gömlek giyinmek gibi– kendinizi izleyin ve her seferinde aynı işlem sırasını uygulayıp uygulamadığınıza bakın. Benim gözlemlerime göre (ve daha önce bahsettiğim gibi sürekli olarak kendimi gözlemlemeye çalışıyorum), büyük ihtimalle belirli rutin işler için her seferinde aynı adımları uyguluyorsunuz, bir işe farklı adımlar eklense bile. Örneğin, çoğu gömleğim kol düğmesi takmayı gerektirmez, fakat gerektirdiğinde, kol düğmesi kullanımı bu işe bir dizi adım daha ekler.

Benim zihnimdeki işlem adımları belirli hiyerarşilere göre organize olmuştur. Uyumadan önce belirli bir yöntem izlerim. İlk adım diş fırçalamaktır. Ancak bu adım da kendi içinde birkaç adımdan oluşur, birincisi diş fırçasına diş macunu sürmektir. Diş fırçasına diş macunu sürmek bile kendi içinde diş macununu bulmak, kapağını açmak gibi küçük adımlardan oluşur. Diş macununu bulmak da kendi içinde adımlardan oluşur, birincisi banyo dolabını açmaktır. Banyo dolabını açmak da bir dizi işlem gerektirir ve birincisi

dolap kapağını tutmaktır. Bu işlemler en küçük hareketlere kadar alt alta gruplara ayrılmaya devam eder, böylece gerçekten binlerce küçük hareket gece rutinimi oluşturur. Birkaç saat önce çıktığım yürüyüşteki detayları hatırlamakta güçlük çeksem bile tüm bu uyuma öncesi hazırlanma adımlarını hatırlamakta zorluk çekmem – öyle ki bu rutini gerçekleştirirken başka şeyler bile düşünebilirim. Bu listenin binlerce basamaktan oluşan uzunca bir liste olmadığını vurgulamak gerek – bunun yerine, her rutin işlem oldukça ayrıntılı grupların hiyerarşik düzeni şeklinde hatırlanır.

Aynı tipteki hiyerarşi düzeni nesneleri ya da durumları tanıma becerimizde de vardır. İyi bildiğimiz insan yüzlerini tanır hatta bu yüzlerde göz, burun, ağız vb. organlar olduğunu biliriz – algılarımızda ve hareketlerimizde kullandığımız kalıplar hiyerarşisidir bu. Hiyerarşileri kullanmak kalıpları tekrar tekrar kullanmamızı sağlar. Örneğin, her yeni bir yüzle tanışmamızda burun ya da ağız konseptini yeniden öğrenmemiz gerekmez.

Gelecek bölümde, bu düşünme deneylerinin sonuçlarını ortaya koyarak neokorteksin nasıl çalışması gerektiğiyle alakalı bir teori oluşturacağız. Bu sonuçların düşünme sistemimizle ilgili diş macunu bulmaya çalışırken ve şiir yazarken ortak olan önemli özellikler gösterdiğini tartışacağım.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Bir Neokorteks Modeli: Zihnin Şekil Tanıma Teorisi

Beyin bir dokudur. Karışık şekilde örülmüş bir dokudur, evrende bu derece karmaşık bir şey bilmiyoruz fakat her doku gibi hücrelerden oluşur. Elbette çok özel hücrelerden oluşurlar, fakat herhangi bir başka hücreye hükmeden kurallara uygun şekilde görevlerini yerine getirirler. Elektriksel ve kimyasal sinyalleri saptanabilir, kaydedilebilir ve yorumlanabilir. Ayrıca, bulundurdukları kimyasallar tanımlanabilir, beynin örülü ağını oluşturan bağlantıların haritası çıkarılabilir. Kısacası, beyin incelenebilir, tıpkı bir böbrek gibi.

– David H. Hubel, sinirbilimci

Bir makine düşünün, bu makinenin yapısı düşünme, hissetme ve algı üretiyor; bu makinenin boyutsal olarak büyütüldüğünü düşünün fakat aynı oranı koruduğunu, böylelikle makinenin içine bir değirmene girer gibi girebildiğinizi hayal edin. Tüm bunları varsayarsak makinenin içini ziyaret edebilirsiniz; fakat orada ne gözlemleyeceksiniz? Birbirini itip hareket ettiren parçalardan başka hiçbir şey, algılamayı açıklayabilecek hiçbir şey.

– Gottfried Wilhelm Leibniz

ŞEKİL HİYERARŞİSİ

Bir önceki bölümde açıkladığım basit deneyleri binlerce farklı durumda binlerce kez tekrarladım. Bu gözlemlerden çıkardığım sonuçlar beynin yapması gereken şeylerle ilgili açıklamalarımı ister istemez kısıtlıyor; zaman, uzay ve kütle üzerine yaptığı basit deneylerin genç usta Einstein'ın evrenin işleyişiyle ilgili düşüncelerini kısıtlaması gibi. İlerleyen tartışmada sinirbilimden bazı çok basit gözlemleri de hesaba katacağım, bunu yaparken hâlâ tartışma konusu olan çoğu detayı atlamaya çalışacağım.

Öncelikle, bu bölümün neden özellikle neokorteksi (Latincede "yeni kabuk") anlattığını açıklayayım. Neokorteksin bilgi kalıplarıyla ilgilenme becerimizden sorumlu olduğunu ve bunu hiyerarşiye dayalı bir şekilde gerçekleştirdiğini biliyoruz. Neokorteksi olmayan hayvanlar (basitçe memeliler sınıfına dahil olmayan hayvanlar) hiyerarşileri anlamaya büyük ölçüde yetkin değiller.[1] Gerçekliğin doğuştan gelen hiyerarşik doğasını anlamak ve güçlendirmek memelilere özgü bir davranış ve bu eşi benzeri olmayan davranış evrimsel olarak yeni olan beyin yapısından kaynaklanıyor. Neokorteks duyusal algı, görsel nesnelerden soyut konseptlere kadar her şeyi tanıma, hareketi kontrol etme, mekânsal yönelmeden rasyonel düşünceye varan akıl yürütme, ve dil genel olarak "düşünme" olarak adlandırdığımız her şeyden sorumludur.

Beynin en dış tabakası olan insan neokorteksi ince, neredeyse 2,5 milimetre kalınlığında iki boyutlu bir yapıdır. Kemirgen neokorteksi ise neredeyse bir posta pulu büyüklüğündedir ve düz bir yapıya sahiptir. Primatlarda neokorteksin beynin tamamını kaplayarak tüm derin çıkıntı, çukur ve kırışıklıklara inmesi ve bu şekilde yüzey alanını artırması evrimsel bir gelişmedir. Ayrıntılı katlanmalar sayesinde neokorteks insan beyninin ağırlığının çoğunu, % 80'ini oluşturur. *Homo Sapiens* daha geniş bir neokorteksi mümkün kılmak için geniş bir alın geliştirdi; özellikle bizler genel konseptlerle ilgili daha soyut kalıplarla ilgilenen bir frontal (ön) loba sahibiz.

Bu ince yapı altı katmandan oluşur, I'den VI'ya kadar numaralandırılmıştır. II ve III numaralı katmanlardan çıkan nöronların aksonları neokorteksin diğer kısımlarına uzanır. V ve VI numaralı katmanlardaki aksonlar (nörondan çıkan bağlantılar) öncelikle neokorteksin dışından talamusa, beyin sapına ve omuriliğe bağlanıyor. Katman IV'teki aksonlar neokorteksin dışındaki, özellikle talamustaki nöronlarla sinaptik* bağlantı oluştururlar. Bölgeden bölgeye katman sayıları biraz da olsa değişir. Motor kortekste katman IV çok incedir çünkü bu bölge talamus, beyin sapı ya da omurilikten girdi almaz. Aksine artkafa lobuna (neokorteksin görsel işlemden sorumlu bölgesi) talamustan gelenler dahil oldukça fazla girdi sinyali akar, bu yüzden katman IV'te görülen üç ek katman daha vardır.

Neokorteksle ilgili kritik derecede önemli bir gözlem de neokorteksin temel yapısının neokorteks boyunca oldukça benzer oluşudur. Bu durum ilk olarak Amerikalı sinirbilimci Vernon Mountcastle (1918 doğumlu) tarafından fark edildi. 1957 yılında Mountcastle neokorteksin sütunsal düzenini

(*) Sinaps: nöronların bağlantı noktalarındaki boşluk – ç.n.

keşfetti. 1978'de Michelson-Morley deneyi fizik dünyası için ne kadar önemliyse bu keşif de sinirbilim için o kadar önemli diye düşündü. Aynı yıl neokorteksin hayret uyandıran, değişmez düzenini betimledi, tek bir mekanizmanın sürekli olarak tekrar ettiğini ve neokorteksi oluşturduğunu varsaydı[2] ve kortikal sütunun en küçük birim olduğunu önerdi. Yukarıda not edilen belli katmanlar arasındaki yükseklik farklılıkları, basitçe, bu bölgelerin ilgilenmekle yükümlü olduğu bölgeler arasındaki bağlantı miktarlarının farklı olmasından ileri gelir.

Mountcastle sütunlar içinde daha minik sütunların var olacağını öngördü fakat bu teori çeşitli tartışmalara yol açtı, zira bu küçük yapıların varlığını gösterecek hiçbir görsel ipucu yoktu. Bununla birlikte, yoğun deneysel çalışmalar gerçekte her sütunun sinirsel yapısı içinde de birbirini tekrar eden bazı birimler olduğunu gösterdi. Bana göre bu basit birim bir şekil tanıyıcısıdır ve neokorteksin en temel bileşenini oluşturur. Mountcastle'ın mini-sütun kavramına karşıt olarak bu tanıyıcılar arasında herhangi bir fiziksel sınır yoktur çünkü bunlar birbirlerine yakın ve beraber dokunmuş gibi yerleşmişlerdir bu yüzden kortikal sütun çok sayıda tanıyıcıdan oluşan bir yığındır. Bu tanıyıcılar yaşamları boyunca kendilerini birbirlerine bağlayabilirler, neokortekste gördüğümüz (modüller arası) detaylı bağlantısallık daha öncesinden genetik kodla belirlenmemiştir, bunun yerine zaman içinde öğrendiğimiz kalıpları yansıtmak için yaratılmıştır. Bu tezi daha detaylı açıklayacağım fakat şimdilik neokorteksin nasıl organize olduğunu bu şekilde anlatabilirim.

Neokorteksin yapısını ileriki düzeyde incelemeden önce, sistemleri doğru bir seviyede modellemenin önemli olduğu not edilmeli. Kimya bilimi teorik olarak fizik üzerine temellendirilmiş ve tamamen fizikten elde edilebilmiş olsa da kimyanın kendi kural ve modellerini yaratmaması beceriksizce ve pratikte imkânsız olurdu bu yüzden kimya kendi kurallarını ve modellerini yarattı. Benzer şekilde, termodinamik kurallarını fizikten elde edebiliriz, fakat elimizde yeterli miktarda parçacık olduğunda ve bu parçacıklara gaz diyebildiğimizde her parçacık etkileşimi için fizik denklemi çözmek umut kırıcı olurdu, ama termodinamik kuralları oldukça iyi işliyor. Biyoloji de aynı şekilde kendi kuralları ve modelleri olan bir bilim. Bir pankreas adacık hücresi aşırı derecede komplikedir, özellikle de bu modellemeyi molekül seviyesinde yaparsak. Bir pankreasın insülin düzenleme ve sindirim enzimi seviyesinde modellemesi yapılırsa daha az karmaşık olduğu görülür.

Aynı prensip beyindeki modelleme seviyelerine ve anlayışına da uygulanabilir. Beyni, tersine mühendislik uygulayarak moleküler seviyede etkile-

şimlerini modellemek oldukça faydalı ve gereklidir fakat bu çabanın amacı özellikle modelimizi arıtmak ve bu sayede beynin bilişsel anlamı üretmek üzere bilgiyi nasıl işlediğini anlamaktır.

Yapay zekâ alanının kurucularından olan Amerikalı bilim insanı Herbert A. Simon (1916-2001) kompleks sistemleri doğru soyutlama seviyesinde anlamak ile ilgili ikna edici yazılar yazdı. 1973 yılında kendi tasarladığı EPAM (basit algılayıcı ve hatırlayıcı) adlı yapay zekâ programını anlatırken 'Gizemli EPAM programını anlamaya karar verdiğinizi düşünün. Sizlere iki farklı şekilde anlatabilirim. Birincisi gerçekten yazıldığı hâli olur – bütün çalışma yöntemlerinin yapısıyla birlikte. Diğer versiyonda tüm çeviri tamamlandığında EPAM'ın makine dilini diğer bir deyişle her şeyin düzleştirildiği hâlini anlatabilirim. Hangi versiyonun en tutumlu, en anlamlı ve en kurallı açıklama olduğunu uzunca tartışmaya gerek olmadığını düşünüyorum. Hatta size üçüncü versiyondan bahsetmeyeceğim bile... Yani sizlere programı göstermeyeceğim, bilgisayarın fiziksel bir sistem olarak gördüğü elektromanyetik denklemler ve sınır koşulları EPAM olarak davranırken bilgisayarın uymak zorunda olduğu koşullardır. Bu durum redaksiyonun (eksiltme) ve anlaşılmazlığın zirvesidir.'[3]

Bir insan neokorteksinde yaklaşık yarım milyon kadar kortikal sütun bulunur ve bu sütunlar iki milimetre yükseklik ve yarım milimetre genişliğinde olup yaklaşık 60.000 nöron içerir (o zaman toplamda neokorteksin içinde 30 milyar nöron vardır). Kabaca bir tahminle bir sütundaki her şekil tanıyıcının yaklaşık 100 nöron içerdiğini söyleyebiliriz, dolayısıyla bütün neokortekste 300 milyon adet şekil tanıyıcı vardır.

Bu şekil tanıyıcıların nasıl çalıştığını düşünürken, tam olarak nereden başlayacağımızı bilmenin zor olacağını söyleyerek başlayayım. Neokortekste her şey eş zamanlı gerçekleşir, dolayısıyla bu süreçte bir başlangıç ya da bitiş yoktur. Sıkça, henüz açıklamadığım fakat ileride açıklamayı planladığım konseptlere değineceğim, bu yüzden lütfen bu ileri referanslar için sabırlı olun.

İnsanlar mantığı işlemek için zayıf bir beceriye sahipler fakat oldukça derin bir şekil tanıma kapasiteleri var. Mantıksal düşünmeyi gerçekleştirebilmek için, neokorteksi kullanmamız gerekiyor ve neokorteks aslen büyük bir şekil tanıyıcı olarak görev yapıyor. Neokorteks mantıksal dönüşümler yapabilmek için ideal bir mekanizma değil ama bu iş için sahip olduğumuz tek tesis. Örneğin, insanın satranç oynamasıyla normal bir bilgisayar satranç programının nasıl çalıştığını karşılaştırın. Dünya satranç şampiyonu Garry Kasparov'u yenen bilgisayar Deep Blue, her saniye 200 milyon satranç tahtası pozisyonuna (çeşitli hamle sekanslarını temsil ediyor) kadar mantıksal çıkarım

analiz edebiliyordu. (Bu analiz şu anda bazı kişisel bilgisayarlarda yapılabiliyor.) Kasparov'a her saniye kaç tane pozisyon analiz edebildiği sorulduğunda birden daha az analiz yaptığını söyledi. Pekâlâ nasıl oldu da Deep Blue'ya direnebildi? Bu sorunun cevabı insanların şekil tanıma konusunda oldukça güçlü olmasına dayanıyor. Bunun yanı sıra, bu tesisi eğitmemiz gerekiyor, ki bu gereklilik yüzünden her insan çok iyi seviyede satranç oynayamıyor.

Kasparov neredeyse 100.000 kadar satranç tahtası pozisyonu öğrendi. Bu gerçek bir sayı – bir insan ustanın ilgilendiği alanda yaklaşık 100.000 bilgi parçasında ustalaştığını ortaya koyduk. Shakespeare oyunlarını 100.000 kelime anlamıyla oluşturdu (aşağı yukarı 29.000 kelime kullandı fakat çoğunu birkaç farklı anlamda kullandı). İnsan medikal uzmanlarının bilgisini temsil etmek için üretilen medikal uzmanlık sistemleri tipik bir medikal uzmanının kendi bölümünde yaklaşık 100.000 konuda uzmanlaştığını gösteriyor. Bu depodan bir bilgi parçası tanımak kolay bir iş değil çünkü tek bir bilgi parçası her deneyimlendiğinde kendini farklı bir şekilde temsil edebilir.

Bilgisiyle kuşanmış Kasparov, satranç tahtasına bakar ve gördüğü örüntüyü 100.000 tahta pozisyonuyla karşılaştırır, bu karşılaştırmayı eş zamanlı yapar. Şu noktada fikir birliği sağlandı: Tüm nöronlarımız şekilleri aynı anda düşünüyor. Bu eş zamanlı *ateşledikleri* anlamına gelmiyor (eğer öyle olsaydı bayılıp yere düşerdik) ama işlemleri sürerken ateşleme ihtimalini düşünürler.

Neokorteks kaç tane şekil kaydedebilir? Tekrardan fazlalık konusunu ön plana çıkarmamız gerekiyor. Örneğin sevdiğiniz bir kişinin yüzü bir kere değil binlerce kez kaydedilir. Bu tekrarların bazıları yüzün aynı görüntüsüdür fakat çoğu yüzün farklı ışıklar, farklı ifadeler gibi farklı bakış açılarından görüntülerini oluşturur. Bu tekrar eden şekillerin hiçbiri bir fotoğraf karesi gibi saklanmaz (yani iki boyutlu piksel dizilişi gibi saklanmaz). Bunun yerine özellikler listesi olarak saklanırlar ki burada bir şekli oluşturan elementler de kendi içinde tekrar eden şekillerdir. Aşağıda bu özellik hiyerarşisinin tam olarak neye benzediğini ve nasıl düzenlendiğini tarif edeceğiz.

Eğer bir uzmanın tüm bilgisinin (yani şekillerin) 100.000 "parça"dan oluştuğunu yüzde birlik bir fazlalık tahminiyle varsayarsak 10 milyon şeklin var olması gerektiği ortaya çıkar. Bu yoğun uzman bilgisi daha genel ve daha geniş bir profesyonel bilgi birikimi üzerine inşa edilmiştir, bu yüzden şekillerin miktarını yaklaşık 30 milyondan 50 milyona kadar çıkarabiliriz. Günlük insanî, 'aklıselim' bilgimiz daha da fazla; sokaklarda öğrendiklerimiz neokortekste kitaplardan öğrendiklerimizden daha fazla yer kaplıyor. Bu durumu da hesaba katarsak varsayımımız 100 milyon şeklin de üzerine çıkıyor, fazlalık

faktörü olan 100'ü de hesaba katmış oluyoruz. Fazlalık faktörünün sabit olmaktan uzak olduğunu not edelim – çok yaygın olan şekiller binlere kadar uzanan fazlalık faktörüne sahipken, oldukça yeni bir konu 10'dan daha düşük bir fazlalık faktörüne sahip olabilir.

Aşağıda bahsedeceğim gibi yöntem ve hareketlerimiz de şekillerden oluşur ve aynı şekilde korteks bölgelerinde depolanır, dolayısıyla insan neokorteksinin kapasitesiyle ilgili tahminim yüz milyonlarca şekil depolayabildiğidir. Bu kaba hesap yukarıda sayısını 300 milyon olarak tahmin ettiğim şekil tanıyıcılarla doğru bir bağlantı kuruyor, dolayısıyla her neokortikal şekil tanıyıcının işlevi bir şekildeki bir iterasyonu (yani neokorteksteki çoğu şeklin birden fazla gereksiz kopyası içerisinden bir tanesini) işlemektir. İnsan beyninin başa çıkabileceği şekil sayısıyla ilgili (gerekli fazlalıklar dahil) tahminlerimiz ve fiziksel şekil tanıyıcıların sayısı aynı büyüklük düzenine denk düşüyor. Burada şunu da not etmeliyiz, ne zaman bir şekli 'işlemek' desem bu şekil ile yapabileceğimiz her şeyi kastediyorum: öğrenmek, tahmin etmek (şeklin parçaları dahil), tanımak ve uygulamak (şekil hakkında düşünerek ya da fiziksel hareket olarak uygulamak).

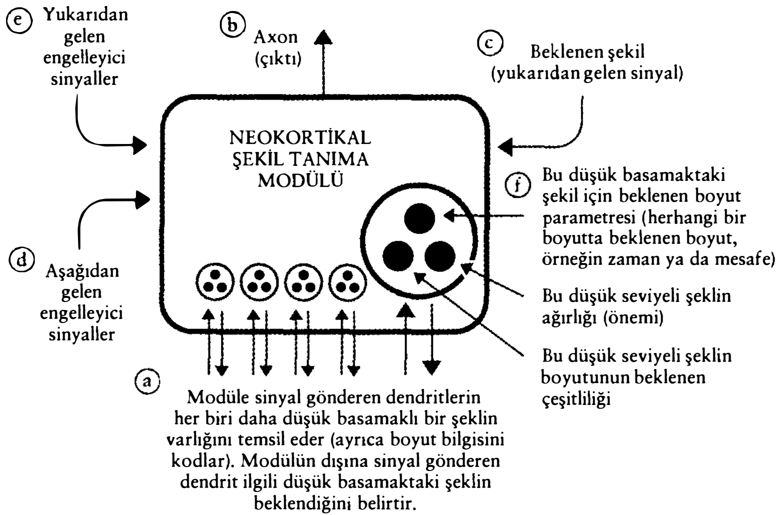
Üç yüz milyon şekil işlemcisi fazla bir sayı gibi görünebilir, gerçekten bu sayı *Homo Sapiens* için sözlü ve yazılı dil geliştirmek, kullandığımız araçları geliştirmek ve çeşitli şeyler yaratmak için yeterliydi. Bu icatlar birbirleri üzerine eklendi ve ivmelenen geri dönüşler kanununda bahsettiğim gibi teknolojideki bilgi içeriğinin oldukça hızlı büyümesini sağladı. Başka hiçbir canlı türü bunu başaramadı. Daha önce sözünü ettiğim gibi birkaç başka canlı türü, örneğin şempanzeler, dili anlama ve oluşturma ile ilgili ya da ilkel alet kullanma gibi iptidaî bir yeteneğe sahip gibi görünüyorlar. Sonuçta onlar da neokortekse sahip fakat neokorteksin boyutlarının, özellikle frontal lobun, küçük olması sebebiyle becerileri sınırlı. Bizim neokorteksimizin boyutu eşiği geçti ve bu durum bizim türümüzün çok daha güçlü aletler inşa edebilmesini sağladı, buna kendi zekâmızı anlamamızı sağlayacak aletler de dahil. Sonuç olarak beynimiz geliştirdiği teknolojiyle birleşerek en az 300 milyon şekil işlemcisinden oluşan sentetik bir neokorteks yaratmamıza izin verecek. Belki de bir milyar şekil işlemcisi? Ya da bir trilyon? Neden olmasın?

BİR ŞEKLİN YAPISI

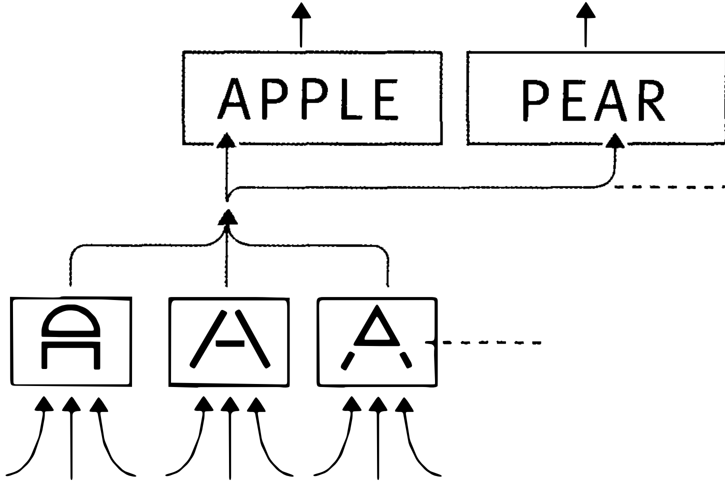
Burada sunduğum zihnin şekil tanıma teorisi, neokorteksteki şekil tanıma modüllerinin şekilleri tanımasını temel alıyor. Bu şekiller (ve modüller) hiyerarşiler içinde düzenlenmiş. Aşağıda bu fikrin düşünsel köklerini 1980'lerde

ve 90'larda yaptığım hiyerarşik şekil tanıma ile ilgili kendi çalışmalarımı ve 2000'lerin başında Jeff Hawkins (1957 doğumlu) ile Dileep George'un (1977 doğumlu) oluşturduğu neokorteks modelini dahil ederek açıklayacağım.

Her şekil (neokortekste olduğu tahmin edilen 300 milyon şekil tanıyıcıdan biri tarafından tanınan her şekil) üç parçadan oluşur. İlk parça girdidir, girdi de daha aşağı düzeyde ana şekli oluşturan şekillerden oluşur. Bu alt basamaklardaki şekillerin tamamı dayandıkları üst basamaklardaki her şekil için tekrar etmek durumunda değildir.



Örneğin, sözcükleri oluşturan çoğu şekil "A" harfini içinde bulundurur. Bu şekillerin hepsi "A" harfini tekrar tanımlamaz, bunun yerine var olan tanımın aynısını kullanır. Bunu ağ sunucusu olarak düşünün. "A" harfi için bir internet sitesi (yani belli bir şekil) var ve "A" harfini içeren kelimeler için her internet sitesi "A" sayfasına ("A" şekline) götüren bir bağlantı içeriyor. Neokorteks internetteki bu bağlantılar yerine gerçek nöron bağlantıları kullanıyor. "A" harfini içeren her kelime için "A" şeklinin tanıyıcısından çıkan bir akson birden fazla dendrite bağlanıyor. Fazlalık faktörünü de hesaba katın: "A" harfi için birden fazla şekil tanıyıcı var. Bu "A" şekil tanıyıcılarından herhangi biri "A" harfini kapsayan yukarıdaki şekil tanıyıcılara sinyal gönderiyor.



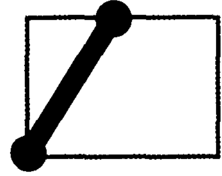
"A" yerine geçen yüksek basamaklı şekilleri doyuran üç yedek (birbirlerinden biraz farklı) "A" şekli.

Şekilleri oluşturan ikinci parça isimleridir. Dil dünyasında bu üst basamaktaki şekil basitçe "elma" (apple) sözcüğüdür. Dilin her basamağını anlamak ya da işlemek için neokorteksimizi direkt olarak kullansak da neokortekste bulunan çoğu şekil tabiri caizse dil şekilleri değildir. Neokortekste bir şeklin "adı" basit olarak her şekil işlemcisinden çıkan aksondur; bu akson ateşlediğinde onun karşılığı olan şekil tanınmış olur. Aksonun ateşlemesi şekil tanıyıcının şeklin adını haykırmasıdır: "Hey millet, şu an 'elma' sözcüğünü gördüm."

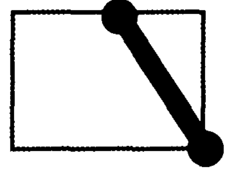
Her şeklin üçüncü ve son parçası, her şeklin bir parçası olduğu üst basamaktaki şekiller dizisidir. "A" harfi için bu dizi "A" harfini barındıran sözcüklerdir. Bunlar, yine, internetteki bağlantılar gibidir. Bir seviyedeki tanınmış her şekil üst basamakta bulunan ve parçası olduğu bir sonraki şekli tetikler. Neokortekste bu bağlantılar her şekil tanıyıcıda bulunan nöronlara doğru akan dendritlerle temsil edilir. Her nöronun birden çok dendritten girdi alabileceğini ve aksonda tek bir sinyal oluşturacağını unutmayın. Bununla birlikte bu akson daha sonra birden çok dendrite sinyal gönderebilir.

Bazı basit örnekler düşünebiliriz, gelecek sayfada bulunan basit şekiller yazılı harfleri oluşturan küçük şekillerin küçük bir kümesi. Unutmayalım ki her seviye bir şekli oluşturuyor. Bu durumda çizgiler şekil, harfler şekil ve kelimeler de şekil oluşturur. Bu şekillerin her biri bir dizi girdiye sahiptir, bu girdilerle (girdilere bağlı olarak modüllerde) şekil tanıma süreci gerçekleşir, ve bir sonraki basamaktaki şekil tanıyıcıyı besleyen çıktı oluşur.

Güneybatıdan merkez kuzeye doğru bağlantı:



Güneydoğudan merkez kuzeye doğru bağlantı:



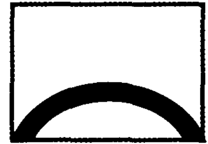
Yatay çizgi:



En solda duran dikey çizgi:



Güneye bakan konkav bölge:



Altta duran yatay çizgi:



Üstte duran yatay çizgi:



Ortada duran yatay çizgi:

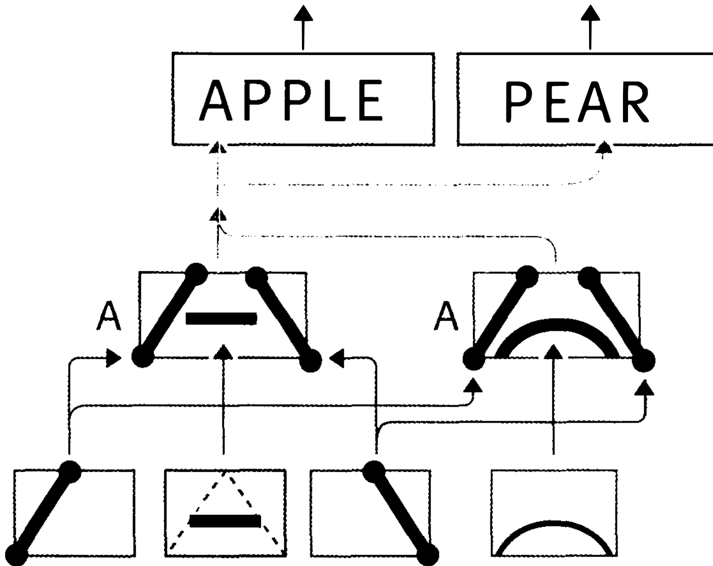


Üst kısmı oluşturan halka:



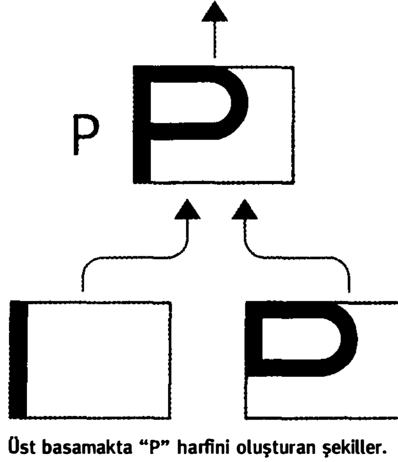
Yukarıdaki şekiller bir sonraki basamaktaki şekillerin alt kümelerini oluşturur, bu kategorinin adı basılı harflerdir (neokortekste bu tarz formel kategoriler yoktur, bunun yanı sıra, gerçekte de hiç formel kategori yoktur).

"A":



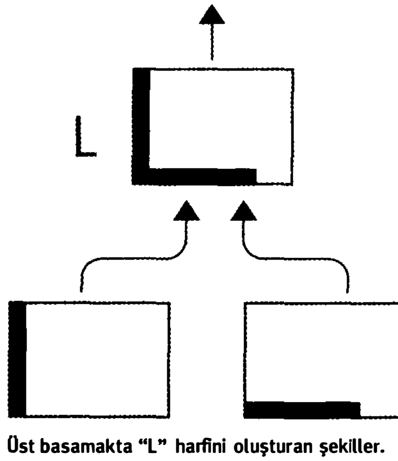
"A"yı oluşturan iki farklı şekil ve yüksek basamakta "A"yı içeren iki farklı şekil ("APPLE" ve "PEAR") = ("ELMA" ve "ARMUT").

"P":



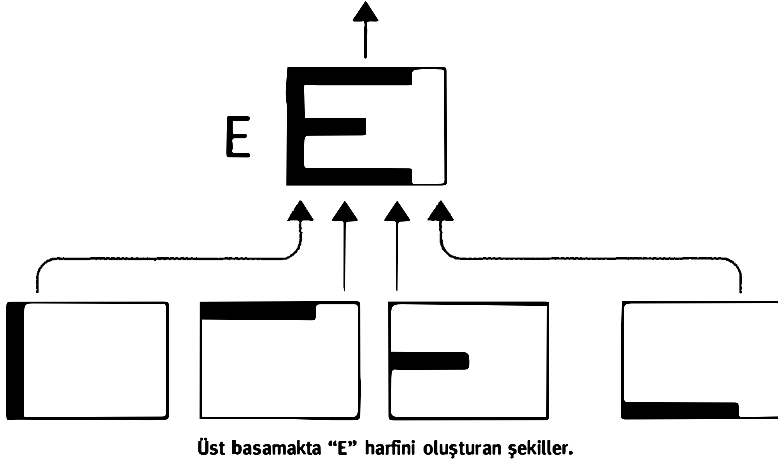
Üst basamakta "P" harfini oluşturan şekiller.

"L":



Üst basamakta "L" harfini oluşturan şekiller.

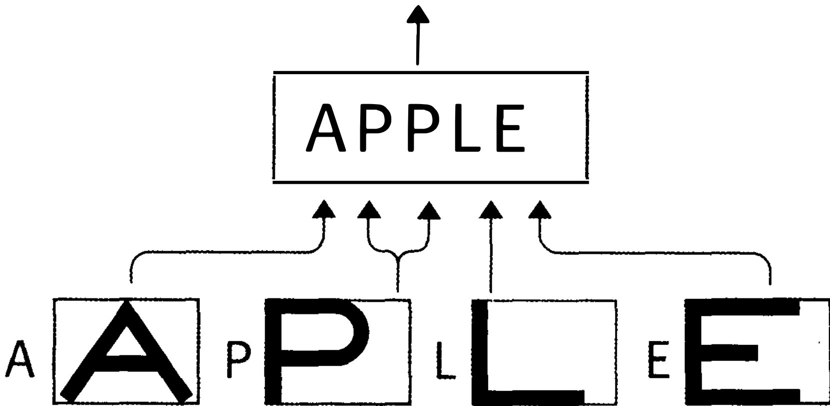
"E":



Üst basamakta "E" harfini oluşturan şekiller.

Bu harf şekilleri de üst basamakta olan ve sözcük adı verilen kategorideki bir şekli oluşturabilir.

"APPLE":



Korteksin farklı bir bölümünde şekil tanıyıcıların karşılaştırılabilir bir hiyerarşisi var, bu şekil tanıyıcılar (basılı harfler yerine) gerçek nesnelerin *görüntülerini* işliyor. Gerçek bir elmaya bakıyorsanız, alt basamaklardaki tanıyıcılar kıvrımlı uçları ve yüzey renk şekillerini saptayıp aksonunu ateşleyebilecek şekil tanıyıcılara sinyal gönderecek ve bu etkiyle ikinci basamaktaki şekil tanıyıcılara "Hey millet, gerçek bir elma gördüm" diyecek. Bunun yanı sıra diğer şekil tanıyıcılar ses frekanslarının kombinasyonlarını saptayıp, işitsel kortekste bulunan akson ateşleyebilecek şekil tanıyıcılara sinyal göndererek "Birinin elma dediğini duydum" diyecek.

Fazlalık faktörünü de unutmamalıyız – henüz "elma" için her biçimi (yazılı, işitsel, görsel) tanıyan bir şekil tanıyıcımız yok. Muhtemelen daha fazla değilse bile bunun gibi yüzlerce ateşleyici şekil tanıyıcı var. Fazlalık sadece başarılı bir şekilde her elma durumunu tanıma olasılığını artırmıyor, bunun yanında gerçek dünyadaki elma çeşitleriyle de başa çıkıyor. Elma nesnesi için çok çeşitli elma formlarını (örneğin, farklı açılardan, renklerden, gölgelerden, biçimlerden ve çeşitlerden elmalar) tanıyan şekil tanıyıcılar olacak.

Ayrıca yukarıda gösterilen hiyerarşinin kavram hiyerarşisi olduğunu da unutmamalıyız. Bu tanıyıcılar fiziksel olarak birbirleri üzerinde yer almıyorlar; neokorteksin ince bir yapıya sahip olması sebebiyle bu şekil tanıyıcılar fiziksel olarak sadece bir şekil tanıyıcı basamağı yukarıda yer alıyorlar. Kavramsal hiyerarşi bireysel şekil tanıyıcıların arasındaki bağlantılar sayesinde yaratılıyor.

Zihnin şekil tanıma teorisinin önemli bir özelliği de tanıma işleminin her şekil tanıma modülü içinde nasıl yapıldığıdır. Modülün içinde depolanan her girdi için girdiyi sağlayan dendrit, bu girdinin tanıma için ne derece önemli olduğunu belirtir. Şekil tanıyıcının ateşleme için bir eşik değeri vardır (bu da şekil tanıyıcının sorumlu olduğu şekli başarıyla tanıdığını belirtir). Her girdi şekli, bir tanıyıcının ateşlemesi için var olmak zorunda değildir. Tanıyıcı, önemi düşük olan bir girdi kaybolmuş olsa bile akson ateşleyebilir, fakat tanıyıcı, önemi yüksek olan bir girdiyi bulamadığında ateşleme olasılığı daha düşüktür. Ateşlediğinde de şekil tanıyıcı, basitçe, "Sorumlu olduğum şekil muhtemelen buralarda bir yerlerde duruyor," der.

Bir şeklin modülü tarafından başarılı bir şekilde tanınması aktifleştirilmiş girdi sinyallerinin sayısının kaydedilmesinden öteye geçer (her ne kadar sinyal sayısı önemli bir parametre olsa da). Boyut (her girdi için) önemlidir. Her girdi için bir başka önemli parametre de vardır, bu parametre girdinin beklenen boyutunu belirtir ve bir diğer parametre de bu boyutun ne ölçüde

değişebileceğini gösterir. Bunun nasıl çalıştığını kavramak için İngilizce "steep" (okunuşu: stiip) sözcüğünü düşünelim. Bu sözcük dört sesten oluşuyor: [s], [t], [e] ve [p]. [t] fonemi (birim sesi) bir "dişsi konson (ünsüz)"dur. Yani bu ses dilin üst dişlere değmesi hava tarafından kesilince ortaya çıkan bir gürültüdür. [t] fonemini yavaşça söylemek özellikle imkânsızdır. [p] fonemi 'patlamalı konson' ya da 'ağızdan kapanmalı' olarak bilinir, bu ses yolunun aniden kapanması ([p] fonemi için dudaklar tarafından) ve bu şekilde havanın geçememesi anlamına gelir. Ayrıca bu kapanma oldukça hızlı gerçekleşir. [E] sesi ses telleri ve açık ağzın rezonansı ile ortaya çıkar. Bu fonem 'uzun vokal (ünlü)' olarak tanımlanır, yani ünsüz harflerden örneğin [t] ve [s] gibi daha uzun süre boyunca seslendirilebilir fakat süresi de epey değişken olabilir. [s] fonemi ise 'hışırtılı konson' olarak bilinir ve birbirine yakın duran alt ve üst dişlerin uçlarından hava geçmesiyle oluşur. Devam süresi genellikle [E] gibi bir uzun vokalden daha kısa sürer fakat değişebilir (başka bir deyişle, [s] oldukça hızlı da söylenebilir ya da uzatılabilir).

Konuşma tanıma ile ilgili çalışmamızda konuşmayla ilgili şekilleri tanıyabilmek için böyle bir bilgiyi kodlamamızın ne kadar gerekli olduğunu gördük. Örneğin, "step" (okunuşu: step) sözcüğüyle "steep" oldukça benzer sözcükler. "Step" ve "steep" sözcüklerindeki [e] fonemi birbirinden farklı sesler olsa da (farklı rezonans frekansları var) bu sözcükleri ünlü seslerine göre ayırmak çok güvenilir değil çünkü bu sesler genellikle karıştırılabilen sesler. "Step" sözcüğündeki [e] fonemi "steep" sözcüğündeki [E] fonemiyle karşılaştırıldığında daha kısa olduğu görülüyor, bu gözlemi hesaba katmak incelemeyi daha güvenilir kılıyor.

Bu tip bir bilgiyi her girdi için iki numarayla kodlayabiliriz: tahmin edilen boyut ve bu boyutun çeşitliliğinin derecesi gibi. "Steep" örneğinde, [t] ve [p] fonemlerinin ikisinin de tahminî okunuş süresi kısa olmakla birlikte küçük bir tahminî çeşitliliği vardır (yani uzun t ve p sesleri duymayı beklemeyiz). [s] sesi tahminen kısa bir süreye sahiptir fakat çeşitliliği daha fazladır çünkü bu sesi uzatmak mümkündür. [E] sesi tahmini uzun bir süre okunur ve yüksek bir çeşitlilik derecesi vardır.

Konuşma örneklerimizde "boyut" değişkeni sürekliliği belirtir fakat zaman tek bir uzanıma sahiptir. Karakter tanıma çalışmamızda kıyaslanabilir uzaysal bilginin basılı harfleri tanımak için önemli olduğunu bulduk (örneğin 'i' harfinin üzerindeki noktanın altta kalan bölümden daha küçük olması beklenir). Daha yüksek soyutlama seviyelerinde neokorteks şekillerin tüm süreklilik çeşitleriyle ilgilenecektir; örneğin çekicilik, ironi, mutluluk, hayal kı-

rıklığı ve sayısız birçok özellik. Çeşitli süreklilikler arasında bazı benzerlikler bulabiliriz, örneğin Darwin'in jeolojik kanyonların fiziksel boyutu üzerinden türler arası farklılaşma ile ilgili çıkarımlarda bulunması gibi.

Biyolojik bir beyinde bu parametrelerin boyutları beynin kendi deneyimlerinden ileri gelir. Fonemler hakkında belirli bir bilgiyle doğmuyoruz; hatta farklı diller çok farklı fonem setlerine sahip. Bu da bir şeklin birden fazla örneğinin her şekil tanıyıcıda öğrenilmiş parametrelere göre kodlandığını gösteriyor (ki bir şeklin birden çok örneği girdilerin şekil tanıyıcılara tahmini büyüklük dağılımlarını belirliyor). Bazı yapay zekâ sistemlerinde bu tarz parametreler uzmanlar (örneğin bize farklı fonemlerin tahmini sürelerini söyleyen bazı dilbilimciler) tarafından kodlanıyor. Kendi çalışmamda, sahip olduğumuz yapay zekâ sisteminin kendi deneme verisinden kendi kendine bu parametreleri keşfettiğini (beynin yaptığıyla aynı şekilde) bulduk ki bu olağanüstü bir yaklaşımdı. Bazen karma bir yaklaşım uyguladık, yani sisteme uzman insanların sezgilerini yükledik (parametrelerin başlangıç ayarları için) daha sonra da yapay zekâ sisteminin gerçek konuşma örneklerini öğrenerek otomatik olarak bu tahminleri düzeltmesini sağladık.

Şekil tanıma modülünün yaptığı, tanımaktan sorumlu olduğu şeklin olasılığının hesaplanması (bir önceki deneyimlerini baz alarak bir olayın gerçekleşme ihtimalini bulması) aslında modülün aktif girdileri tarafından temsil ediliyor. Modüle giren her bir girdi eğer alt basamaktaki ilgili şekil tanıyıcı nöron ateşliyorsa aktif hâle geliyor (bu da alt basamaktaki şeklin tanındığı anlamına geliyor). Her girdi aynı zamanda gözlemlenen büyüklüğü (süre ya da fiziksel büyüklük ya da bir başka süreklilik gibi uygun bir boyutta) kodluyor ve bu şekilde büyüklük şeklin toplam olasılığını hesaplayarak modül tarafından (her girdi için depolanan büyüklük parametreleriyle) kıyaslanıyor.

Nasıl oluyor da beyin (ve bir yapay zekâ sistemi) şeklin (modülün tanımaktan sorumlu olduğu) toplam olasılığını (1) girdiler (her biri gözlemlenen bir büyüklükle), (2) büyüklükle ilgili depolanmış parametreler (tahmin edilen büyüklük ve bu büyüklüğün değişkenliği) ve (3) her girdinin önemine dair parametreler gibi verilerle hesaplıyor? 1980'lerde ve 1990'larda, ben ve bazı arkadaşlarım bu parametreleri öğrenmek ve daha sonra hiyerarşik şekilleri tanımada kullanmak amacıyla 'hiyerarşik gizli Markov modelleri' adlı bir matematiksel metoda öncülük ettik. Bu tekniği insan konuşmasını tanımada ve doğal dili anlamada kullandık. Bu yaklaşımı Yedinci Bölüm'de tarif edeceğim.

Tanımanın bir şekil tanıyıcıdan diğerine akışına dönecek olursak, yukarıdaki örnekte bilginin, kavramsal hiyerarşi boyunca basit harf özellikle-

rinden harflere, harflerden de sözcüklere doğru aktığını görüyoruz. Tanıma işlemi buradan söz öbeklerine ve sonra daha kompleks dil yapılarına akmaya devam edecek. Eğer birkaç düzine daha basamak çıkarsak yukarıdaki basamaklarda ironi ve kıskançlık gibi daha karmaşık kavramlara ulaşırız. Her şekil tanıyıcı eş zamanlı çalışıyor olsa da tanıma işleminin bu kavramsal hiyerarşide yukarı doğru hareket etmesi zaman alıyor. Her basamaktaki işlemi geçmek saniyenin yüzde biriyle onda biri arasında bir vakit alıyor. Deneyler kısmen yüksek basamakta bulunan bir şeklin örneğin bir yüzü tanımanın en az saniyenin onda biri kadarlık bir sürede gerçekleştiğini gösterdi. Bu tanıma süreci eğer yüzde önemli bozukluklar varsa tam bir saniye kadar uzun da sürebilir. Eğer beyin (alışılmış bilgisayarlar gibi) ardışık işlem yapıyor olsaydı ve her şekil tanıma işlemini sırayla yapıyor olsaydı olası her alt basamak şeklini bir sonraki basamağa geçmeden düşünmek zorunda kalırdı. Dolayısıyla bu da bir sonraki basamağa geçmeden önce milyonlarca devir yapmak anlamına gelirdi. Şekil tanıma sürecini bilgisayarda simüle ettiğimizde olan şey tam da bu. Bununla birlikte unutmayalım ki bilgisayarlar bizim biyolojik akımlarımızdan milyonlarca kez daha hızlı işlem yapar.

Burada not etmemiz gereken çok önemli bir nokta var: bilgi, kavramsal hiyerarşide aşağıdan yukarıya aktığı gibi yukarıdan aşağıya doğru da hareket edebilir. Bu aşağı doğru olan akım daha kayda değer bir akımdır. Örneğin, soldan sağa doğru okuma yaparken "E", "L", "M" harflerini gördükten ve tanıdıktan sonra "ELMA" tanıyıcısı gelecek pozisyonda muhtemelen "A" harfini göreceğini tahmin edecek. Bu tanıyıcı *aşağıya* doğru "A" tanıyıcısına bir sinyal gönderecek ve "Çok yakında 'A' şeklini görme ihtimalinin yüksek olduğunun farkında ol ve bu yüzden gözün açık olsun," diyecek. "A" tanıyıcısı bunun üzerine eşik değerini "A" harfini tanıma olasılığını yükseltecek şekilde ayarlar. Dolayısıyla eğer gelecek pozisyonda görünen şekil belli belirsiz "A" harfi bile olsa ve muhtemelen lekeli olduğu için 'normal' koşullarda "A" tanıyıcısı bu harfi "A" olarak tanımayacak da olsa "A" tanıyıcısı gerçekten bir "A" gördüğünü belirtecek çünkü bu pozisyon için "A" harfi bekleniyordu.

Dolayısıyla neokorteks karşılaşmayı beklediği şeyi tahmin ediyor. Geleceği görünür kılmak neokorteks sahibi olmamızın en önemli sebeplerinden biri. En yüksek kavramsal basamakta, sürekli olarak tahminler yapıyoruz – kapıdan birazdan kim geçecek, birazdan karşımızdaki insan ne söyleyecek, köşeyi döndüğümüzde ne görmeyi bekliyoruz, kendi hareketlerimizin sonuçları neler olacak gibi. Bu tahminler neokorteks hiyerarşisinin *her* basamağında sürekli olarak oluyor. Sık sık insanları, bazı nesneleri ve kelimeleri yanlış

tanırız çünkü beklenen bir şekli onaylamak için gerekli olan eşik değeri çok düşüktür.

Pozitif sinyallere ek olarak ayrıca negatif ya da engelleyici sinyaller de belirli bir şeklin var olma ihtimalinin düşük olduğunu belirtir. Bunlar daha düşük kavramsal basamaklardan gelir (örneğin bir bıyığın tanınması ödeme sırasında gördüğüm kişinin karım olduğu ihtimalini azaltır) ya da daha yüksek bir basamaktan da gelebilir (örneğin, eşimin seyahatte olduğunu biliyorsam ödeme sırasındaki kadın eşim olamaz). Bir şekil tanıyıcı engelleyici sinyali aldığında bu sinyal tanıma eşiğini yükseltir fakat şeklin nöron ateşlemesi hâlâ muhtemeldir (yani ödeme sırasındaki kişi eşimse onu hâlâ tanıma ihtimalim vardır).

NEOKORTİKAL ŞEKİL TANIYICILARA AKAN VERİNİN DOĞASI

Bir şekil için oluşan verinin nasıl göründüğünü biraz daha inceleyelim. Eğer şekil bir insan yüzü ise veri en az iki boyutta var olur. Gözlerin en önce tanındığını ve sonrasında burnun tanındığını söyleyemeyiz. Aynı şey çoğu ses için de geçerlidir. Bir müzik parçası en az iki boyuttan oluşur. Aynı anda birden fazla enstrüman ve/veya ses olabilir. Buna ek olarak, karmaşık bir enstrümanın örneğin piyanonun tek bir notası birkaç frekanstan oluşur. Tek bir insan sesi eş zamanlı olarak düzinelerce farklı frekansta değişen enerji seviyelerine sahip olabilir. Dolayısıyla bir ses şekli tek bir anda çok karmaşık olabilir ve bu karmaşık anlar zamanda uzanır. Dokunsal girdiler de iki boyutludur, zira ten iki boyutlu bir duyu organıdır ve bu tarz şekiller üçüncü boyut olan zaman boyunca değişebilirler.

Dolayısıyla neokorteks şekil işlemcisine giren girdi –üç değilse de– iki boyutlu şekillerden oluşuyor gibi görünebilir. Buna rağmen, neokorteks yapısında şekil girdilerini sadece tek boyutlu bir liste hâlinde görebiliriz. Yapay şekil tanıma sistemleri yaratma alanındaki tüm çalışmalarımız (örneğin konuşma tanıma ve görsel tanıma sistemleri) iki ve üç boyutlu olayları bunun gibi tek boyutlu listelerde temsil edebileceğimizi (ki ettik) gösteriyor. Bu yöntemlerin nasıl çalıştığını Yedinci Bölüm'de tarif edeceğim fakat şimdilik her şekil işlemcisine giren girdilerin, şekil doğal bir şekilde kendi içinde birden fazla boyut yansıtsa da tek boyutlu olduğu anlayışıyla devam edebiliriz.

Bu noktada tanımayı öğrendiğimiz şekillerin (örneğin belirli bir köpeğin ya da genel "köpek" fikrinin, müziksel bir notanın ya da bir müzik parçasının) anılarımızın altında yatan mekanizmayla tamamen aynı mekanizma olduğunu belirtmeliyiz. Anılarımız, aslında, listeler hâlinde düzenlenmiş şekiller

gibidir (her listedeki her madde kortikal hiyerarşide başka bir şekildir) ve bu şekilleri uygun bir uyarıcı ile karşımıza çıktıklarında öğrenir ve daha sonraları da tanırız. Aslında, neokortekste anılar tanınmak amacıyla bulunur.

Bu durumda tek istisna, mümkün olan en düşük kavramsal basamakta olur, zira burada bir şeklin girdi verisi belirli bir duyusal bilgiyi temsil eder (örneğin, optik sinirden gelen bir görüntü verisi). Bu en düşük şekil basamağı bile kortekse ulaşana kadar, ciddi anlamda basit şekillere dönüştürülür. Bir anıyı oluşturan şekiller listesi ileri doğru giden bir sıradadır ve bizler de anılarımızı yalnızca bu sırayla hatırlayabiliriz, dolayısıyla anılarımızı tersine hatırlamakta zorlanırız.

Bir anı başka bir düşünce/anıyla (bunlar aynı şeylerdir) tetiklenme ihtiyacı duyar. Bu tetiklenme mekanizmasını bir şekil algılarken deneyimleyebiliriz. "E", "L" ve "M"yi algıladığımızda "ELMA" şekli bir "A" göreceğimizi tahmin eder ve tetiklenen "A" şekli artık tahmin edilmektedir. Korteksimiz böylece bir "A" görmeden önce onu görmeyi "düşünür." Korteksimizdeki bu özel etkileşim dikkatimizi çekerse "A"yı görmeden onu düşünürüz hatta hiç görmeyecek olsak bile düşünürüz. Benzer bir mekanizma eski anıları tetikler. Genellikle bu tarz bağlantıları içeren kocaman bir zincir vardır. Eski anıyı tetikleyen anılarımızla (yani şekillerle) ilgili belli bir düzeyde farkındalığımız olsa bile anılar (şekiller) bir dile ya da görüntü etiketlerine sahip değildir. Eski anıların bir anda aklımıza geliyormuş gibi görünmesi bu yüzdendir. Gömülmüş ve belki yıllar boyu aktive olmamış anılar bir internet sayfasının açılması için bir bağlantıya tıklanması gerektiği şekilde aktifleşmesi için tetiklenmeye ihtiyaç duyarlar. Ayrıca bir internet sayfası ona bağlantı kuran bir sayfa kalmadığında nasıl 'öksüz' hâle geliyorsa aynı durum anılarımıza da olabilir.

Düşüncelerimiz çoğunlukla yönetilmeyen ve yönetilen olmak üzere iki moddan biriyle aktive edilir ve iki yol da aynı kortikal bağlantıları kullanır. Yönetilmeyen modda bağlantıları belirli bir yöne doğrultmaya teşebbüs etmeden kendi hallerine bırakırız. Bazı meditasyon çeşitleri (örneğin benim yaptığım Transandantal Meditasyon) zihni kendi hâline bırakmayı temel alır. Rüyalar da bu niteliğe sahiptir.

Yönetilen düşüncede daha düzenli bir anı hatırlama (örneğin, bir hikâye) ya da problem çözme sürecine adım atarız. Bu neokorteksimizdeki listelerin üzerinden geçmeyi de kapsar fakat yönetilmeyen düşüncenin daha az yapılandırılmış telaşı da sürece eşlik eder. Bu sebeple, düşünmemizin içeriği oldukça dağınıktır ki James Joyce da bu konuyu "bilinç akışı" romanlarında aydınlatmıştır.

Hayatınızda anılar/hikâyeler/şekiller üzerinde düşündüğünüzde, yürüyüşte bir kadını, bebeği ve bebek arabasıyla görme şansınız olup olmadığını ya da eşinizle nasıl tanıştığınızın hikâyesini düşündüğünüzde, anılarınız bir dizi şekilden oluşur. Bu şekiller sözcüklerle ya da seslerle ya da resimlerle ya da videolarla etiketlenmediği için belirli bir olayı hatırlamaya çalıştığınızda temel olarak zihninizdeki görüntüleri tekrardan inşa ediyor olacaksınız çünkü gerçek görüntüler aslında yok.

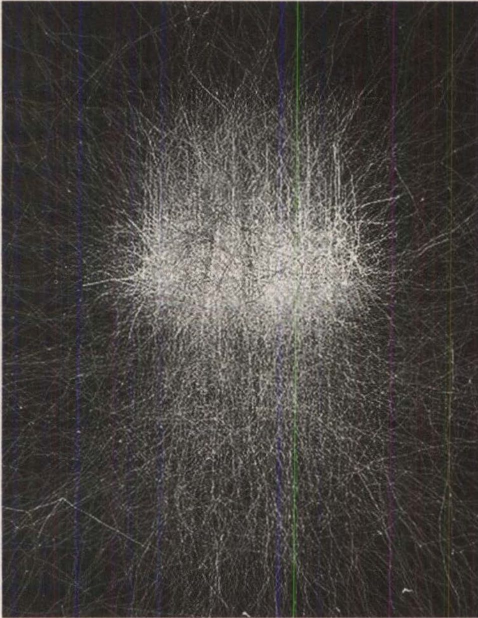
Eğer bir insanın zihnini "okumak" ve neokorteksinde tam olarak ne olduğunu dikkatle incelemek isteseydik bu kişinin anılarını yorumlamak oldukça zor olurdu, neokortekste depolanmış tetiklenmeyi bekleyen ya da tetiklenmiş ve aktif düşünceler olarak o anda deneyimlenen şekillere bakabilsek bile. "Görebileceğimiz" şey ise milyonlarca şekil tanıyıcının eş zamanlı aktivasyonu olurdu. Saniyenin yüzde biri kadarlık bir süre sonra kıyaslanabilir sayıda ve aktive olmuş farklı bir şekil tanıyıcı dizisi görürdük. Bunun gibi her şekil başka şekillerin bir listesi olurdu ve bu liste de başka şekillerin listesi olur ve böylelikle en düşük basamakta en temel basit şekle ulaşana kadar devam edebiliriz. Her basamaktaki *bütün* bilgiyi kendi korteksimize kopyalamadan, yüksek basamaklardaki şekillerin ne ifade ettiğini yorumlamak son derece zor olurdu. Dolayısıyla neokorteksimizdeki her şekil yalnızca alt basamaklardaki bilgilerin ışığıyla bir anlam ifade ediyor. Buna ek olarak aynı basamaktaki diğer şekiller ve yüksek basamaklardaki şekiller de bir içerik sağladıkları için belirli bir şekli yorumlamayla bağlantılı. Bu yüzden gerçek zihin okuma için sadece bir kişinin beynindeki ilgili aksonların aktivasyonunu saptamak yetmez bu aktivasyonları anlamak için tüm anılarıyla bütün neokorteksi incelemek de gerekir.

Düşüncelerimizi ve anılarımızı deneyimledikçe ne ifade ettiklerini "biliriz" fakat bunlar hemen açıklanabilecek düşünceler ya da anılar olarak bulunmazlar. Eğer anılarımızı başkalarıyla paylaşmak istersek onları dile çevirmemiz gerekir. Bu iş de neokorteks tarafından, dili kullanma amacıyla öğrendiğimiz şekiller sayesinde eğitilmiş şekil tanıyıcıları kullanarak başarıyla tamamlanır. Dil başlı başına oldukça hiyerarşik bir yapıya sahiptir ve neokorteksin hiyerarşik doğasından faydalanır ki bu da gerçekliğin hiyerarşik doğasını yansıtır. İnsanların dildeki hiyerarşik yapıları doğuştan gelen bir beceriyle öğrenmesiyle ilgili Noam Chomsky'nin yazdıkları da neokorteksin yapısını yansıtır. 2002'de yazılan Chomsky'nin de yazarları arasında bulunduğu bir makalede Chomsky "tekrarlama" özelliğini insan türünün kendine has dil becerisinin bir sonucu olduğunu aktarır.[4] Tekrarlama, Chomsky'ye göre, kü-

çük parçaları birleştirip daha büyük bir parça oluşturup bu daha büyük parçayı başka bir yapıda tekrar kullanmak ve bu süreci tekrar etmeye devam etmektir. Bu şekilde kısıtlı bir sözcük dizisinden detaylı cümle yapıları ve paragraflar inşa edebiliriz. Burada Chomsky açık bir şekilde beyin yapılarını ima etmiyor olsa da tarif ettiği yeti tam olarak neokorteksin yaptığı şeydir.

Az gelişmiş memeliler neokortekslerinin neredeyse tamamını yaşam biçimlerinde karşılaştıkları zorluklar için kullanırlar. İnsan türü aslında daha çok korteks geliştirerek yazılı ve sözlü dili işlemek için ilave beceriler elde etmiştir. Bazı insanlar bu tarz becerileri diğerlerinden daha iyi öğrenmiştir. Eğer belirli bir hikâyeyi çok kez anlatırsak hikâyeyi tarif eden dil ardışıklığının ayrı sıraların dizileri hâlinde olduğunu görerek öğreniriz. Bu durumda bile hafızamız sözcüklerin kurallı sırası değildir, bunun yerine hikâyeyi her anlattığımızda belirli sözcüklere tercüme ettiğimiz dil yapılarıdır. Herhangi bir hikâyeyi her paylaştığımızda daha farklı anlatmamızın sebebi budur (eğer sözcük sıralarını bir şekil gibi öğrenmiyorsak).

Belirli düşünce süreci tanımlarının her biri için fazlalık meselesini de düşünmemiz gerekir. Bahsettiğim gibi, hayatımızdaki önemli oluşumları temsil eden tek bir şekle sahip değiliz, bu oluşumlar duyusal, dilsel kategoriler ya da olaylarla ilgili anılar olsa da olmasa da. Önemli her şekil –her basamakta– birçok kez tekrar edilir. Bu tekrarlamalardan bazıları basit yinelemeler iken çoğu farklı bakış açılarını ve duruş noktalarını temsil eder. Tanıdık bir yüzü çeşitli yönlerden ve çeşitli ışıklar altında tanıyabilmemizin sebebi bu prensiptir. Hiyerarşide yukarı doğru çıkarken her basamağın fazlalığa sahip olduğu görülür, ki bu da bu konseptle tutarlı bir şekilde yeterli çeşitliliğe izin verir.



Neokortekste, birçok eş zamanlı şekil tanıyıcının ateşlemelerini gösteren bilgisayar simülasyonu.

Bu yüzden siz sevdiğiniz kişiye bakarken neokorteksinizi incelediğimizi hayal etseydik her basamaktan en ilkel duyusal şe-

killerden sevdiğiniz kişinin görüntüsünü temsil eden birçok farklı şekle kadar şekil tanıyıcıların bir sürü aksonu ateşlediğini görürdük.

Aynı zamanda durumun farklı taraflarını, örneğin o kişinin hareketlerini söylediklerini vs., gösteren muazzam sayıda ateşleme görürdük. Bu sebeple, eğer deneyim hiyerarşi üzerinde yukarı doğru bir seyahatten daha fazlası gibi görünüyorsa gerçekten öyledir. Şekil tanıyıcı hiyerarşisinde yukarı basamaklar daha soyut ve girişik konuları temsil eder fakat yukarı çıkmanın temel mekanizması geçerliliğini sürdürür. Aşağı doğru inen bilgi akışı daha fazladır, tanınmış şeklin aktivasyonu aşağı basamaklardaki şekil tanıyıcılara tahminlerini göndererek karşılaşacağı gelecek şeklin olasılığını aktarır. İnsan deneyimlerinin zengin görünmesinin sebebi aslında neokorteksteki yüz milyonlarca şekil tanıyıcının girdilerini eş zamanlı olarak işlemesidir.

Beşinci Bölüm'de dokunma, görme, duyma ve diğer duyu organlarından neokortekse gelen bilgi akışını açıklayacağım. Bu erken girdiler, ilgili duyusal girdi (bu bölümlerin atanmasında neokorteksin yansıtan ciddi esneklikler olsa da) çeşitlerine göre ayrılmış kortikal bölgelerde işlenirler. Kavramsal hiyerarşi neokorteksteki her duyusal bölgede en yüksek kavramlardan sonra da devam eder. Kortikal birleşme alanları farklı duyusal alanlardan gelen girdileri birleştirir. Örneğin muhtemelen eşimizin sesi olan bir ses duyduğumuzda ve sonra onun varlığını belirten bir şey gördüğümüzde detaylı mantıksal çıkarım sürecine girmeyiz bunun yerine, bu duyusal tanımaların kombinasyonundan eşimizin varlığını dakikasında algılarız. İlgili duyularımızı ve algısal işaretleri –hatta belki de parfüm kokusunu da– çok seviyeli algı olarak birleştiririz.

Kortikal duyu birleşme bölgelerinin yukarısında bulunan bir kavramsal basamakta daha da soyut konularla ilgilenebiliyoruz – algılayabiliyoruz, hatırlayabiliyoruz ya da hakkında düşünebiliyoruz. En yüksek basamakta *eğlenceli, sevimli* ya da *ironik* ve benzeri şekilleri tanırız. Anılarımız bu soyut tanıma şekillerini de kapsar. Örneğin, biriyle yürüyüş yaptığımızı ve yanımızdaki kişinin eğlenceli bir şeyler söylediğini ve güldüğümüzü şakanın kendisini hatırlamasak da hatırlayabiliriz. Bu bellekteki anı dizisi, basit bir şekilde, komik olanın tam olarak ne olduğunu değil espri algısını kaydetmiştir.

Bir önceki bölümde bir şekli tarif edebilecek kadar iyi tanıyamasak da sıklıkla bu şekli hatırlayabileceğimizi not etmiştim. Örneğin, inanıyorum ki bugün erken saatlerde yürüyüşte gördüğüm kadın ve bebeğini tam olarak görsel olarak gözümde canlandıramasam da, ya da kadınla ilgili belirleyici tarifler yapamasam da gösterilen resimler içerisinden seçebilirim. Bu durumda

kadınla ilgili hafızam belirli yüksek basamak özellikler listesidir. Bu özellikler dil ya da görüntü etiketleri içermediği için ve pikselli görüntüler olmadıkları için kadını düşünebilirken onu tarif edemiyorum. Buna rağmen, bana bir resmi gösterilirse bu resmi işleyebilirim ve bu da ilk kez kadını gördüğümde tanınan yüksek basamak özelliklerin aynısı tekrar tanınır. Bu şekilde eşleşen özellikleri seçerek kadının resmini belirleyebilirdim ve kendimden emin bir şekilde resmi seçerdim.

Bu kadını bir kez yürüyüş yaparken görmüş olsam da muhtemelen neokorteksimde hâlihazırda bu kadına ait şekillerden birkaç kopya var. Bununla birlikte, bu kadını belirli bir süre boyunca düşünmezsem bu şekil tanıyıcılar başka şekillere atanacak. Anılarımızın zamanla daha da silikleşmesinin sebebi budur: Fazlalık miktarı belirli anılar yok olana kadar gitgide azalır. Buna rağmen, bu kadını buraya yazarak onu andığım için muhtemelen kadını çok kolay unutmayacağım.

OTOBİRLEŞME VE DEĞİŞMEZLİK

Bir önceki bölümde bütün şekil mevcut değilse, hatta bozulmuşsa bile bu şekli nasıl tanıyabileceğimizi açıkladım. Bu kabiliyetlerden bir tanesi otobirleşme olarak adlandırılıyor: bir şeklin kendinin bir parçasıyla kendini birleştirmesi/ilişkilendirmesidir. Her şekil tanıyıcının yapısı, doğası gereği bu yeteneği destekler.

Alt basamaktaki bir şekil tanıyıcıdan yukarıdakine bir girdi çıktıkça bu bağlantı bir "ağırlığa" sahip olur ve bu ağırlık, şekildeki elementin ne kadar önemli olduğunu belirtir. Dolayısıyla şeklin daha önemli elementleri şekil tanınmış olarak ateşlenecekse daha ağır olur. Lincoln'ın sakalı, Elvis'in favorileri ve Einstein'ın ünlü dil çıkaran fotoğrafı görünüşlerini öğrendiğimiz bu ikonik figürlerin fazla ağırlığa sahip şekillerindendir. Şekil tanıyıcı, önem parametrelerini hesaba katan bir olasılık hesaplar. Dolayısıyla toplam olasılık eğer bir ya da daha fazla parametre kaybolmuşsa tanınma eşiğine ulaşılamamış olsa da düşüktür. Daha önce belirttiğim gibi (şeklin var olduğu) toplam olasılığın hesaplanması basit ağırlıklı bir toplamdan daha karmaşıktır çünkü büyüklük parametresi de düşünülmelidir.

Eğer bir şekil tanıyıcı yüksek basamaktaki bir tanıyıcıdan şeklin 'beklenen' bir şekil olduğu sinyalini alırsa eşik değeri etkili bir şekilde düşürülür (yani beklenen şekil için eşiği geçmek daha kolay hâle getirilir). Alternatif olarak böyle bir sinyal sadece ağırlığı olan girdilerin toplam ağırlığına da eklenebilir ve bu şekilde kayıp bir elementin yerini doldurarak durumu dengeler. Bu

durum her basamakta gerçekleşir, bu yüzden yüz gibi en alt basamakların biraz üstünde olan bir şekil, birkaç özellik eksik olsa da tanınır.

Bazı açılardan biçimleri değişmiş olsa da şekillerin tanınabilmesine özellik değişmezliği denir ve dört farklı şekilde yapılabilir. Öncelikle, neokorteks duyusal veriyi almadan önce yapılan evrensel dönüşümler vardır. Gözlerden, kulaklardan, deriden gelen duyusal verinin yolculuğunu 80. sayfada "Duyu Yolları" bölümünde inceleyeceğiz.

İkinci yöntem, kortikal şekil hafızamızdaki fazlalık durumundan faydalanır. Özellikle önemli maddeler için birçok farklı bakış açısı ve duruş noktası öğrendik. Bu sebeple, bu çeşitlilikler ayrı ayrı depolanır ve işlenir.

Üçüncü ve en güçlü yöntem, iki listeyi birleştirebilmektir. Bir liste, öğrendiğimiz bir dizi dönüşümü belirli bir şekil kategorisine uygulayabilir; korteks, muhtemel değişimleri içeren aynı listeyi bir başka şekle uygulayabilir. Dildeki benzetme ve mecaz gibi kavramları bu şekilde anlayabiliyoruz.

Örneğin belirli fonemlerin (dildeki basit sesler) konuşma dilinde kaybolabileceğini öğrendik (mesela, "gidiyorsun"). Eğer sonrasında yeni bir sözcük öğrenirsek (örneğin, "geliyorsun") daha önce bu sözcüğü hiç duymamış olsak bile herhangi bir harfi eksik olduğunda tanıyabiliriz çünkü bazı seslerin sözcüğe dahil edilmemesine aşinayızdır. Bir başka örnek, belirli bir sanatçının yüzünün bazı parçalarını örneğin burnunu (daha büyük hâle getirerek) vurgulamayı sevmesi olabilir. Aşina olduğumuz bir yüzü, yüzde bir değişiklik yapılmış olsa bile ve daha önce bu değişiklik yapılmışken yüzü hiç görmemiş olsak dahi tanıyabiliriz. Belirli sanatsal değişiklikler şekil tanımayı temel alan neokorteksimiz tarafından tanınan belli özellikleri vurgular. Bahsettiğim gibi, bu durum karikatürün temelidir.

Dördüncü yöntem tek bir modülün bir şeklin birkaç farklı örneğini kodlamasına izin veren boyut parametrelerinden elde edilir. Örneğin, "steep" sözcüğünü birçok defa duymuşuzdur. Belirli bir şekil tanıma modülü [E]'nin söylenme süresinin tahmini değişkenliğinin fazla olduğunu belirterek bu söylenen sözcüğün farklı söylenişlerini şifreleyebilir. [E] harfini içinde bulunduran sözcük modüllerinin hepsi benzer bir duruma sahipse bu değişkenlik [E] modelleri için de kodlanabilir. Bununla birlikte, [E]'yi içinde bulunduran (ya da farklı fonemleri barındıran) farklı sözcükler farklı miktarlarda tahminî değişkenliğe sahip olabilir. Örneğin, "peak" (okunuşu: piik) sözcüğündeki [E] "steep" sözcüğündeki [E] foneminden daha farklıdır.

ÖĞRENME

> Yeryüzünün üstünlüğünde mirasçılarımızı yaratanlar kendimiz değil miyiz? Onların düzenlenmesine günlük olarak güzellik ve zarafet katan; onlara günlük olarak muazzam beceri veren ve bu kendi kendini düzenleyen, kendi kendine işleyen güçle besleyen herhangi bir zekâdan daha iyi hâle getiren bizler değil miyiz?
>
> – Samuel Butler, 1871

> Beyinlerin başlıca etkinliği kendi içlerinde değişiklikler yapmaktır.
>
> – Marvin Minsky, *Akıl Toplumu*

Şimdiye kadar şekilleri (duyusal ve algısal) nasıl tanıdığımızı ve şekil dizilerini (bazı şeylerle ilgili belleğimiz, insanlar ve olaylar gibi) nasıl hatırladığımızı inceledik. Ancak, bu şekillerle dolu bir neokorteksle doğmayız. Beynimiz yaratıldığında neokorteksimiz bakir bir bölgedir. Beynimiz öğrenme kabiliyetine sahiptir ve dolayısıyla şekil tanıyıcıları arasında bağlantılar oluşturabilir, fakat bu bağlantıları deneyimle kazanır.

Bu öğrenme süreci doğmadan önce başlar, biyolojik olarak gerçek büyüme süreciyle eş zamanlı olarak devam eder. Bir fetüs bir aylıkken dahi, temelde sürüngen bir beyin olsa da, bir beyni vardır ve bu esnada rahimdeki fetüs biyolojik evrimin yüksek hızda yeniden yaratılışı sürecinden geçer. Hamileliğin üç aylık dönemine ulaşıldığında natal beyin belirgin bir şekilde insan neokorteksine sahip bir insan beyni gibidir. Bu zamanda fetüs deneyim kazanmaya başlar ve neokorteks bu deneyimleri öğrenir. Sesleri duyabilir, özellikle annesinin kalp ritmini duyar hatta insan kültürlerinde ritmik müzik niteliğinin evrensel olması muhtemelen bu sebepten kaynaklanır. Keşfedilmiş insan medeniyetlerinin hepsi kültürlerinin bir parçası olarak müziğe sahipti ki bu durum diğer sanatlar için, örneğin resim sanatı için geçerli değil. Ayrıca müzik vuruşlarının kalp atım hızımızla kıyaslanabilir olması da aynı durumdur. Müzik vuruşları elbette ki çeşitlilik gösterir –eğer öyle olmasaydı müzik ilgimizi çekmezdi– fakat kalp atışları da çeşitlilik gösterir. Oldukça düzgün kalp atışları aslında hasta bir kalbin işaretçisidir. Döllenen yumurta rahme düştükten yirmi altı hafta sonra fetüsün gözleri kısmen açıktır ve rahme düştükten yirmi sekiz hafta sonra da çoğu zaman tamamen açıktır. Rahimde görülecek çok bir şey yoktur fakat neokorteksin işlemeye başladığı aydınlık ve karanlık şekilleri vardır.

Dolayısıyla yeni doğan bir bebek, rahimde biraz deneyim kazanmış olur tabii açık bir şekilde bu deneyim kısıtlıdır. Neokorteks eski beyinden de

bir şeyler öğrenebilir (Beşinci Bölüm'de açıkladığım bir konu) fakat doğumda genellikle bir çocuğun öğrenebileceği çok fazla şey vardır – basit ilkel sesler ve biçimlerden, metaforlara ve iğnelemeye kadar.

Öğrenme, insan zekâsı için son derece önemlidir. Eğer insan neokorteksini mükemmel bir şekilde modelleyip simüle edebilirsek (Mavi Beyin Projesi'nin –Blue Brain Project– girişimde bulunduğu gibi) hatta neokorteksin işlevini yapması için gerek duyduğu diğer beyin bölgelerini de (mesela hipokampus ve talamus) işin içine katarsak –yeni doğan bir bebeğin fazla bir şey yapamadığı gibi (kesinlikle önemli bir adaptasyon olan "sevimli olmak" dışında)– bu beyin de pek bir şey yapamazdı.

Öğrenme ve tanıma eş zamanlı olarak gerçekleşir. Öğrenme işlemine bir anda başlarız ve bir şekli öğrendiğimiz gibi onu tanımaya başlarız. Neokorteks sürekli olarak ona sunulan girdiyi anlamlandırmaya çalışır. Eğer belirli bir basamak bir şekli tamamen işleyemiyor ve tanıyamıyorsa şekli bir sonraki basamağa gönderir. Eğer şekli tanımada hiçbir basamak başarılı olamıyorsa şekil yeni bir şekil olarak kabul edilir. Bir şekli yeni olarak sınıflandırmak her yönünün yeni olduğu anlamına gelmek zorunda değildir. Eğer belirli bir sanatçının resimlerine bakıyorsak ve fil burnuna sahip bir kedi görmüşsek bu ayırıcı özellikleri tanımlayacağız fakat bu kombinasyonun yeni bir şey olduğunu fark edeceğiz ve muhtemelen unutmayacağız. Neokortekste var olan ve içeriği anlayan –örneğin, bu resmin belirli bir sanatçının işi olduğunu ve bu sanatçıya ait yeni resimlerin gösterildiği bir açılışa katılıyor olduğumuzu anlayan– yüksek kavramsal basamaklar kedi-fil yüzündeki alışılmadık şekil kombinasyonlarını not edecek fakat ayrıca bu içeriksel detayları ilave bellek şekilleri arasına ekleyecektir.

Yeni anılar, örneğin kedi-fil yüzü gibi, mevcut bir şekil tanıyıcıda depolanacaktır. Bu süreçte hipokampus rol oynar ve gerçek biyolojik mekanizma ile ilgili bilinenleri gelecek bölümde tartışacağız. Neokorteks modelimizin amaçları doğrultusunda herhangi bir durumda tanınmayan şekillerin yeni şekiller olarak saklandığını ve onları oluşturan alt basamaktaki şekillerle uygun bir şekilde bağlantıda olduğunu söylemek yeterlidir. Kedi-fil yüzü, örneğin, birkaç farklı şekilde depo edilir: alışılmadık şekilde dizilen yüz parçaları sanatçıyı, durumu ve belki de ilk gördüğümüzde güldüğümüz gerçeğini de kapsayan içeriksel bir anı olarak saklanır.

Başarılı bir şekilde tanınan anılar, ayrıca daha yüksek bir fazlalık oranı yaratmak için yeni şekiller yaratılmasına da sebep olabilir. Eğer şekiller tam anlamıyla tanınmadıysa, tanınacak öğenin farklı bir açısını yansıtan şeyler olarak depo edilmeleri muhtemeldir.

O zaman, hangi şekillerin depolanacağını belirleyen yöntem nedir? Matematiksel terimlerle sorun şu şekilde ifade edilebilir: şekil deposunun mevcut sınırlarını kullanarak sunulan girdi şekillerini uygun biçimde nasıl yansıtabiliriz? Belli bir miktarda fazlalık faktörüne izin verilmesi mantıklı gelirken, tüm depo alanını (yani tüm neokorteksi) yeterli şekil çeşitliliğine izin vermeyeceğinden ötürü, tekrarlanan şekillerle doldurmak pratik olmazdı. Söylenen sözcüklerdeki [E] fonemi gibi bir şekil sayısız kez deneyimlediğimiz bir şey. Bu, basit bir ses frekansları şeklidir ve şüphesiz neokorteksimizde belirli bir fazlalık oranına sahiptir. Bütün neokorteksimizi [E] foneminin tekrarlanan şekilleriyle doldurabilirdik. Bununla birlikte, faydalı fazlalığın bir limiti var ve [E] fonemi gibi yaygın bir şekil açıkça bu limite erişti.

Bu optimizasyon sorununun doğrusal programlama adı verilen matematiksel bir çözümü var ki bu çözüm, sistemin eğittiği tüm durumları temsil eden limitli kaynaklar için (bu durumda şekil tanıyıcısı sayısı) mümkün olan en iyi paylaştırmayı yapıyor. Doğrusal programlama tek boyutlu girdiler için tasarlandı ki bu da her girdiyi bir şekil tanıma modülüne bağlayan doğrusal ipler hâlinde temsil etmenin neden uygun olduğunu gösteren bir diğer sebep. Bu matematiksel yaklaşımı bir yazılım sisteminde kullanabiliriz, gerçek bir beyin şekil tanıyıcılar arasında kurabileceği sahip olduğu muhtemel fiziksel bağlantılarla daha da kısıtlanıyor olsa da kullandığı yöntem oldukça benzerdir.

Bu ideal çözümün önemli bir sonucu da rutin deneyimlerin tanınması fakat kalıcı belleğe geçmeyişidir. Yürüyüşümü düşünecek olursak, her basamaktan milyonlarca deneyim yaşadım, basit görsel köşelerden ve gölgelerden, ışıklar, posta kutuları, insanlar, hayvanlar, bitkiler gibi nesnelere uzanacak kadar çok şeyin yanından geçtim. Deneyimlediğim şeylerin neredeyse hiçbiri benzersiz değildi ve tanıdığım şekiller çoktan en uygun fazlalık seviyesine ulaşmıştı. Sonuç, bu yürüyüşten neredeyse hiçbir şey hatırlamadığım. Bazı hatırladığım detayların üzerine birkaç düzine daha yürüyüşten sonra başka şekillerin yazılacak olması muhtemel – bu yürüyüşle ilgili bir şeyler yazdığım ve dolayısıyla yürüyüşü hatırlayacağım gerçeğini göz ardı edersek.

Biyolojik neokorteksimizi ve onu simüle etme girişimlerini ilgilendiren önemli bir nokta da birçok kavramsal basamağı eş zamanlı bir şekilde öğrenmemizin zor olduğudur. Temelde, bir anda bir ya da en çok iki kavramı eş zamanlı öğrenebiliriz. Bu öğrenme, görece istikrarlı olduğu takdirde gidip bir sonraki basamağı öğrenebiliriz. Daha alt basamaklarda öğrendiklerimize ince ayar yapmaya devam edebiliriz fakat öğrenme odağımız üst soyutlama basamağıdır. Bu durum yaşamın başlangıcı için de doğrudur, yenidoğanlar ba-

sit formlarla mücadele ederler ve daha sonra yeni bir konu öğrenmek için mücadele ederken her seferinde bir basamaktaki karmaşıklık ile uğraşırız. Aynı konuyu neokorteksin makine emülasyonlarında da buluruz. Bununla birlikte, eğer bu emülasyonlara her seferinde tek basamaktan soyut bir madde gösterilirse bu makineler de insanlar gibi öğrenebilir (bununla birlikte bir anda birden fazla kavramsal basamağı öğrenemezler).

Bir şeklin çıktısı daha alt basamaktaki bir şekli hatta kendisini besleyebilir, bu durum insan beynine güçlü bir tekrarlama yeteneği verir. Bir şeklin bir elementi, bir başka şekil temel alındığında karar noktası olabilir. Özellikle hareketleri oluşturan listeler için bu faydalı bir durumdur – örneğin, diş macununuz bittiğinde yeni bir diş macunu almak gibi. Bu koşullu hal her basamakta mevcuttur. Bilgisayarda bir prosedür programlamaya girişmiş herkes koşullu hallerin bir hareket biçimi tanımlarken hayati önemi olduğunu bilir.

DÜŞÜNCENİN DİLİ

Rüyalar aşırı yüklenmiş beyin için bir güvenlik kapakçığıdır.
– Sigmund Freud, *Rüyaların Yorumu*, 1911

Beyin onun sayesinde düşündüğümüzü düşündüğümüz bir aparattır.
– Ambrose Bierce, *Şeytanın Sözlüğü*

Neokorteksin çalışma yollarıyla ilgili şimdiye kadar öğrendiklerimizi özetlemek için 35-40. sayfalardaki neokortikal şekil tanıma modülü diyagramlarına bakabilirsiniz.

a) Dendritler şekli temsil eden modüle giriş yaparlar. Şekiller iki ya da üç boyutlu gibi görünse de tek boyutlu sinyal dizisiyle temsil edilirler. Şekil, şekil tanıyıcının şekli tanıyabilmesi için bu (ardışık) sırayla var olmalıdır. Dendritlerin her biri eninde sonunda daha alt kavramsal basamaklarda bulunan, alt basamakta bu şekli oluşturan şekillerden birini tanımış, bir ya da daha fazla şekil tanıyıcı aksonuyla bağlantı kurar. Girdi şekillerinin her biri için alt basamaktaki birçok şekil tanıyıcı, daha alt basamaktaki şekilleri tanıdığı sinyalini oluşturabilir. Şekli tanımak için gerekli olan eşik değeri, tüm girdi sinyalleri ulaşmamış olsa dahi aşılabilir. Modül sorumlu olduğu şeklin var olma olasılığını hesaplar. Bu hesaplama "önem" ve

"boyut" parametrelerini dikkate alır (aşağıda [f] maddesine bakabilirsiniz).

Bazı dendritlerin modülün içine, bazılarının da modülden dışarıya sinyal ilettiğini unutmayalım. Eğer birkaç tanesinin dışında tüm girdi dendritleri bu şekil tanıyıcıya alt basamaklarındaki şekillerin tanındığı sinyalini gönderirse bu şekil tanıyıcı aşağıdaki şekil tanıyıcıya ya da şekil tanıyıcılara alt basamak şekillerinin henüz tanınmadığını sinyalleyerek yüksek bir ihtimalle bu şeklin yakın zamanda tanınacağını ve alt basamak şekil tanıyıcısının ya da tanıyıcılarının tetikte olması gerektiğini belirtir.

b) Bu şekil tanıyıcı (girdi dendrit sinyallerinin tümünün ya da çoğunun aktive olmasına bağlı olarak) şeklini tanıdığında bu şekil tanıyıcının aksonu (çıktısı) aktifleşir. Böylece, bu akson girdi işlevi göreceği, birçok yüksek basamak şekil tanıyıcıya bağlanan bütün dendrit ağına bağlanır. Bu sinyal, büyüklük bilgisini iletir ve bu şekilde bir sonraki kavramsal basamakta bulunan şekil tanıyıcılar bu bilgiyi dikkate alır.

c) Yüksek basamaklardaki bir şekil tanıyıcı onu oluşturan şekillerin kendisinin temsil ettiği şekil hariç tümünden ya da çoğundan pozitif sinyal alıyorsa bu yüksek basamak tanıyıcı sinyal alamadığı tanıyıcıya sinyal gönderip temsil ettiği şekli beklediğini söyleyebilir. Böyle bir sinyali alan tanıyıcı bazı girdileri mevcut değilse ya da anlaşılmıyorsa bile eşik değerini düşürerek aksonuna sinyal gönderme olasılığını artırır.

d) Aşağıdan gelen engelleyici sinyaller şekil tanıyıcının şeklini tanıma ihtimalini azaltır. Bu durum bahsettiğimiz şekil tanıyıcıyla ilişkilendirilmiş şeklin alt basamaktan tanınmış şekillerle tutarlı olmamasından kaynaklanabilir (örneğin bir bıyığın alt basamaktaki bir tanıyıcı tarafından tanınması görüntüdeki kişinin "kadın" olması ihtimalini düşürür).

e) Yukarıdan gelen engelleyici sinyaller de şekil tanıyıcının şekli tanıma olasılığını düşürür. Bu durum, yüksek basamaktaki bir kavram için şeklin ilişkilendirildiği tanıyıcıyla tutarsız olmasından kaynaklanabilir.

f) Her bir girdi için önem, tahminî boyut ve boyutun tahminî çeşitliliği gibi depolanan parametreler vardır. Modül bu parametreleri temel alarak genel bir olasılık hesaplar, var olan girdileri belirten o

> anki sinyalleri ve bu sinyallerin büyüklüğünü hesap eder. Bunu matematiksel olarak ideal bir şekilde başarmanın yolu "gizli Markov modeli" tekniğidir. Böyle modeller bir hiyerarşide düzenlendiğinde (neokortekste olduğu gibi ya da neokorteksi simüle etme girişimlerinde olduğu gibi) buna hiyerarşik gizli Markov modeli deriz.

Neokortekste tetiklenen şekiller diğer şekilleri tetikler. Kısmen tamamlanmış şekiller, kavramsal hiyerarşinin aşağılarına sinyaller gönderir; tamamlanmış şekiller kavramsal hiyerarşinin yukarılarına sinyaller gönderir. Bu neokortikal şekiller düşünmenin dilidir. Aynı dil gibi hiyerarşiklerdir fakat aslında dil değillerdir. Düşüncelerimiz birincil olarak dil elementleri olarak kavranmaz, dil de neokorteksimizde şekiller hiyerarşisi şeklinde bulunuyor olsa bile yalnızca dili temel alan düşüncelere sahip olabiliriz. Ancak çoğu zaman düşünceler bu neokortikal şekillerle temsil edilir.

Yukarıda açıkladığım gibi, eğer bir kişinin neokorteksindeki şekil aktivasyonlarını ortaya çıkarabilseydik aktive edilmiş şekillerin altında ve üstünde yer alan bütün şekil hiyerarşisi olmadan bu aktivasyonların ne anlam ifade ettiğiyle ilgili çok ufak bir fikrimiz olurdu. Bu da aşağı yukarı bir insanın bütün neokorteksine erişim gerektirir. Düşüncelerimizin içeriğini anlamak bizim için yeterince zorken bir başka insanınkini anlamak kendimizinkinden farklı olan bir neokorteks üzerinde uzmanlaşmayı gerektirirdi. Elbette henüz bir başkasının neokorteksine erişimimiz yok, bunun yerine bu kişinin kendi düşüncelerini dile (bununla birlikte el kol hareketleri gibi daha başka şeylere de) dökme girişimlerine güvenmemiz gerekiyor. İnsanların bu iletişim görevlerini başarmadaki eksik becerileri bir başka karmaşıklık tabakası daha ekliyor – hiç şüphesiz birbirimizi ne kadar doğru anlıyorsak bir o kadar da yanlış anlarız.

İki çeşit düşünme tarzımız var. Biri yönlendirilmeyen düşünce, yani düşüncelerin mantık dışı bir şekilde bir diğerini tetiklemesi. Bir iş yaparken, örneğin toprak tırmıklamak ya da yolda yürümek, ani bir şekilde yıllar ya da on yıllar öncesinden anı hatırlamaya başladığımızda deneyimi geri çağırırız çünkü tüm anılar bir şekil sekansıdır. Daha geniş çaplı bir hikâye koleksiyonunu oluşturmamızı sağlayan bir sürü başka hikâye hatırlamadan ani bir şekilde bir sahneyi görsel hâle getiremeyiz. Eğer sahneyi bu şekilde görselleştirebilirsek aslında sahneyi hatırlama zamanlarından kalma ipuçlarıyla zihnimizde yaratıyoruzdur; anının kendisi görüntü olarak ya da görsel olarak saklanmaz. Daha önce bahsettiğim gibi, bir düşüncenin aklımıza gelmesini sağ-

layan tetikleyiciler belirli ya da belirsiz olabilir. Alâkalı düşünce dizisi hemen unutulmuş olabilir. Düşünce dizisini hatırlasak bile bu dizi, doğrusal olmayan ilişkiler devresi gibidir.

İkinci düşünme tarzımız ise yönlendirilen düşünmedir, bu düşünme tarzını bir problemi çözme girişiminde bulunduğumuzda ya da düzenli bir cevap formüle ettiğimizde kullanırız. Örneğin, birine söylemeyi düşündüğümüz bir şeyi zihnimizde prova ediyor olabiliriz ya da yazmak istediğimiz bir paragrafı (belki de zihin üzerine yazdığımız bir kitap için) formüle ediyor da olabiliriz. Bunlar gibi görevleri düşündüğümüzde her bir işi hemen küçük iş parçalarına ayırır ve bir hiyerarşi oluştururuz. Bir kitap yazmak, örneğin, bölümleri yazmayı içerir; her bölüm kendi içinde parçalardan oluşur; her parça paragraflardan; her paragraf bir düşünceyi anlatan cümlelerden oluşur; her düşünce bir grup elementten oluşur; bu elementler ve elementler arasındaki ilişkiler açıkça ifade edilebilmesi gereken fikirler içerir vb. Aynı zamanda neokortikal yapılarımız izlenmesi gereken belirli kuralları öğrenmiştir. Eğer görev yazmak ise gereksiz tekrarları önlememiz gerekir; okuyucunun yazılan şeyi takip edebildiğinden emin olmalıyız; dilbilgisi kurallarına ve yazı stili kurallarına uymamız gerekir vs. Dolayısıyla yazar zihninde bir okur modeli inşa etmelidir ve bu inşa da hiyerarşik olmalıdır. Yönlendirilen düşünmeyi uygularken neokorteksimizdeki listelere doğru adım atıyoruz, bu listelerin her biri geniş alt liste hiyerarşilerine uzanır ve her biri kendi değerlendirmelerini göz önünde tutar. Neokortikal şekildeki liste elementlerinin koşulları içerdiğini de akılda tutmalıyız, bu sayede sonradan gelen düşüncelerimiz ve hareketlerimiz, bizler bu süreçte giderken yapılan değerlendirmelere bağlı olacak.

Dahası, bunun gibi her yönlendirilmiş düşünce, yönlendirilmemiş düşünce hiyerarşilerini tetikler. Devam eden, uzun uzadıya düşünme fırtınası hem duyusal deneyimlerimize hem de yönlendirilmiş düşünme girişimlerimize katılır. Bu tetiklenen şekillerin şimşek fırtınalarından oluşan gerçek zihin deneyimlerimiz karmaşık ve dağınıktır hatta saniyede yaklaşık yüz kere değişir.

RÜYALARIN DİLİ

Rüyalar yönlendirilmemiş düşüncelere örnektir. Rüyalarımız belli bir miktarda mantıklıdır çünkü bir düşüncenin diğerini tetiklemesi neokorteksimizdeki şekillerin gerçek bağlarını temel alır. Rüyanın mantıksız olma durumunda onu uydurma becerimizle düzeltmeye kalkışırız. Dokuzuncu Bölüm'de bahsedeceğim gibi, ayrık (bölünmüş) beyin hastaları (korpus kallosumu yani beynin iki lobunu birbirine bağlayan köprüsü ayrılmış ya da zedelenmiş hastalar)

sol beyinleriyle –konuşma merkezini kontrol eden taraf– açıklamalar uydurur çünkü sağ beynin henüz gelen ve sol beynin erişiminin olmadığı girdiyle yaptıklarını açıklamak ister. Olayların sonuçlarını açıklamak için her zaman bir şeyler uydururuz. Eğer bunun güzel bir örneğini istiyorsanız finansal pazarın hareketleri üzerine yapılan günlük yorumları dinleyin. Pazar nasıl hareket ediyorsa etsin bu hareketlerin sebebini açıklamak için her zaman iyi bir açıklama önermek mümkündür ve böyle olay sonrası yorumlarla çok karşılaşırız. Tabii ki bu yorumcular gerçekten pazarı anlasalardı zamanlarını yorum yapmakla harcamazlardı.

Uydurma hâli elbette neokortekste de vardır ki neokorteks belirli kısıtlamalarla karşılaşan hikâye ve açıklamalarla gelmek konusunda iyidir. Bunu bir hikâyeyi her tekrar edişimizde yapıyoruz. Unuttuğumuz ya da mevcut olmayan detayları dolduruyoruz ki hikâye daha anlamlı hâle gelsin. Farklı zaman dilimine ait yeni anlatıcılar tarafından tekrar tekrar anlatılan hikâyelerin zamanla değişmesinin sebebi de budur. Sözlü dil, yazılı dile yol açtı fakat artık bir hikâyenin eksiksiz versiyonunu kaydedebilecek bir teknolojimiz var ve bu tarz kaymaları önleyebiliyoruz.

Bir rüyanın hatırladığımız kadarıyla gerçek içeriği yine bir şekiller dizisidir. Bu şekiller bir hikâyedeki kısıtlamaları temsil eder; daha sonra bu kısıtlamalara uygun olan bir hikâye uydururuz. Rüyanın tekrar tekrar anlattığımız (sadece sessizce kendimize de anlatsak) versiyonu işte bu uydurmadır. Rüyayı yeniden anlattığımızda sıralı şekiller silsilesini tetikleriz ve bu şekiller de rüyanın gördüğümüz orijinal hâlini doldurur.

Uyanıkken sahip olduğumuz düşünmemizle rüyadaki düşüncelerimiz arasında önemli bir fark vardır. Hayatta öğrendiğimiz derslerden bir tanesi, belirli hareketlere, düşünceler bile olsa, gerçek hayatta izin verilmediğidir. Örneğin, arzularımızı anında gerçekleştiremeyeceğimizi öğreniriz. Bir mağazanın kasasındaki parayı alamayacağımıza dair kurallar ve fiziksel olarak çekici bulabileceğimiz insanlarla karşılıklı iletişime geçmek için bazı kısıtlamalar vardır. Ayrıca belirli düşüncelere izin verilmeyeceğini çünkü kültürel olarak yasak olduklarını öğreniriz. Profesyonel beceriler öğrendikçe mesleğimizde tanınmış ve kabul edilmiş düşünme yollarını öğreniriz ve böylece mesleğimizin metotlarını ve normlarını hiçe sayacak düşünce şekillerini önleriz. Bu tabuların çoğu değerlidir çünkü sosyal düzeni ve sağlamlaştırma sürecini güçlendirir. Bununla birlikte bu tabular üretimi engelleyen tutuculuğu güçlendirerek bu süreçleri engelleyebilir. Böyle bir tutuculuk tam olarak Einstein'ın düşünme deneylerinde ışık huzmesiyle seyahat ederken arkasında bıraktığı şeydir.

Kültürel kurallar, neokortekste eski beynin, özellikle amigdalanın yardımıyla güçlenir. Sahip olduğumuz her düşünce diğer düşünceleri tetikler ve bunların bazıları bağlantılı tehlikelerle ilişki kuracaktır. Örneğin, kültürel normu kendi düşüncelerimizde olsa bile kırmanın toplumdan uzaklaştırılmaya sebep olabileceğini öğreniriz ki neokorteks bu durumun refahımızı tehlikeye attığını fark eder. Böyle düşünceleri beslediğimiz anlarda amigdala tetiklenir ve korku yaratır ki bu korku da bu düşünceyi sonlandırmaya sebep olur.

Rüyalarda ise bu tabular rahatlatılır ve çoğunlukla kültürel olarak, sosyal olarak ya da mesleki olarak yasak olan konularla ilgili rüyalar görürüz. Sanki beynimiz rüyadayken dünyadaki gerçek bir aktör olmadığımızı anlar. Freud bu konuyla ilgili yazarken aynı zamanda tehlikeli düşüncelere kılık değiştirttiğimizi, en azından bu düşünceleri hatırlamaya çalıştığımızda bunu yaptığımızı yazdı; bu şekilde uyanık beyin tehlikeli düşüncelerden korunmaya devam ediyordu.

Mesleki tabuları rahatlatmak yaratıcı sorun çözümleri bulmak için faydalı görünüyor. Ben, her gece yatmadan önce belirli bir problem hakkında düşündüğüm zihinsel bir teknik uyguluyorum. Bu yöntem, rüyalarımda devam edecek düşünce dizilerini tetikliyor. Rüya görmeye başladığımda, gün boyunca taşıdığım mesleki engellerin ağırlığı olmadan, bu problem için çözümler düşünebilir, *–hayal edebilirim–*. Sabah uyandığımda, bazen "kontrol edilebilir rüya" denilen, rüya görmekle uyanık olmak arasındaki bir evrede, bu rüya düşüncelerine erişim sağlayabilirim.[5]

Freud ayrıca, bir insanın rüyalarını yorumlayarak o insanın psikolojisine dair fikir edinebileceğimizi de söyledi. Elbette bu teoriyle ilgili birçok bakış açısının oluşturduğu koca bir edebiyat var fakat temel kavram olan rüyalarımızı inceleyerek kendimizle ilgili fikir sahibi olabilmemiz fikri mantıklı geliyor. Rüyalarımız neokorteksimiz tarafından yaratılır ve bu yüzden rüyanın ana fikri neokorteksimizde bulunan içerik ve bağlantılara dair açıklayıcı olabilir. Uyanıkken var olan düşüncelerimize etki eden kısıtlamaların gevşemesi de başka şekilde erişimimizin olmadığı neokortikal içeriği açıklığa kavuşturmada faydalıdır. Ayrıca, rüyalarımızda sonuçlanan şekillerin, bizler için önemli konuları temsil ettiği ve böylelikle çözümlenmemiş arzu ve korkularımızı anlamak için ipucu teşkil ettiği sonucuna varılabilir.

MODELİN KÖKLERİ

Daha önce bahsettiğim gibi 1980'lerde ve 1990'larda, insan konuşmasını tanımak için ve doğal dilde oluşan cümleleri anlamak için hiyerarşik gizli Mar-

kov Modeli tekniğini geliştiren bir gruba önderlik ettim. Bu iş, söylediğimiz şeyleri tanıyan ve anlamaya çalışan (konuşabildiğiniz araç navigasyon sistemleri, iPhone'daki Siri, Google Sesli Arama ve daha birçokları) bugünün yaygın ticari sistemlerinin öncüsüydü. Geliştirdiğimiz teknik, özünde Zihnin Şekil Tanıma Teorisi ile ilgili tarif ettiğim tüm niteliklere sahipti. Bu teknik üst basamaktaki şekillerin alt basamaklara göre kavramsal olarak daha soyut olduğu bir şekil hiyerarşisini kapsıyordu. Örneğin, konuşma tanımada en alttaki basamak, ses frekanslarının basit şekillerinden oluşuyordu, sonra fonemler, sonra sözcükler ve deyimler (sıklıkla sözcük olarak tanınan deyimler) geliyordu. Bazı konuşma tanıma sistemlerimiz doğal dildeki emirlerin manasını anlayabiliyordu, daha yüksek basamaklar ise isim ve fiil yapılarını anlayabiliyordu. Her şekil tanıma modülü, alt kavramsal basamaktaki doğrusal şekil dizilerini tanıyabiliyordu. Her girdi, önem, boyut ve boyutun çeşitliliği parametrelerine sahipti. Alt basamaktan şekil beklendiğini belirten "aşağı doğru" sinyaller vardı. Bu araştırmayı Yedinci Bölüm'de daha detaylı anlatacağım.

2003 ve 2004 yıllarında PalmPilot'ı (el bilgisayarı) icat eden Jeff Hawkins ve Dileep George hiyerarşik geçici bellek adı verilen bir hiyerarşik kortikal model geliştirdiler. Bilim yazarı Sandra Blakeslee ile birlikte Hawkins, bu modeli etkili bir biçimde *Zekâ Üzerine* adlı kitabında tanıttı. Hawkins kortikal algoritmanın ve bu algoritmanın hiyerarşik ve liste temelli düzeninin genelliği üzerine güçlü bir görüş sunuyor. *Zekâ Üzerine* adlı kitapta sunulan model ile benim bu kitapta sunduğum model arasında bazı önemli farklılıklar var. Adından da anlaşıldığı gibi Hawkins kitabında listeleri oluşturan parçaların geçici (zamanı temel alan) doğasını vurguluyor. Diğer bir değişle listelerin doğrultusu daima zaman içinde ileri gidiyor. Hawkins, yazılı "A" harfi gibi iki boyutlu şekillerin zamanda nasıl bir doğrultuya sahip olduğunu göz hareketleri sayesinde belirttiğimizi açıklıyor. Görüntüleri görselleştirirken sekmeleri yani farkında olmadığımız ani göz hareketlerini kullandığımızı söylüyor. Dolayısıyla neokortekse ulaşan bilgi iki boyutlu özellikler dizisi değil, bunun yerine zamana göre sıralanmış bir listedir. Gözlerimizin oldukça ani hareketler yaptığı doğru, fakat gözlerimizin bir şeklin özelliklerini gördüğü "A" harfi gibi bir dizi her zaman tutarlı zamansal bir sıraya göre gerçekleşmez. (Örneğin, göz sekmeleri her zaman "A" harfinin tepesinden altındaki içbükey yüzeye doğru hizalanmaz.) Dahası, yalnızca birkaç milisaniye boyunca sunulan görsel bir şekli tanıyabiliriz ki bu göz sekmelerinin şekli taraması için oldukça kısa bir süredir. Neokorteksteki şekil tanıyıcıların şekilleri listeler hâlinde kaydettikleri doğrudur, hatta bu listeler gerçekten sıralıdır fakat

bu sıra zamanı temsil etmek zorunda değildir. Genellikle sıra zamana göre oluşturulsa da listeler konumsal olarak ya da yukarıda bahsettiğim gibi yüksek seviye kavramsal sıralara göre oluşturulabilir.

Aradaki en önemli fark, şekil tanıma modülüne giren her girdi için eklediğim parametreler dizisidir, özellikle de boyut ve boyut çeşitliliği parametreleri. 1980'lerde insan konuşmasını böyle bir bilgi olmadan tanımayı gerçekten denedik. Bu çaba bilgi süresinin özellikle önemli olmadığını söyleyen dilbilimciler tarafından motive edildi. Bu bakış açısı, bir sözcüğün telaffuzunu sözcükteki her fonemi baştan sona sıralayarak yazan; örneğin "steep" sözcüğünü [s] [t] [E] [p] olarak gösteren, fonemlerin tahmini süresiyle ilgili bir ibare bulundurmayan sözlükler tarafından örneklendirildi. Buradan edindiğimiz çıkarım eğer fonemleri tanıyan ve sonra bu belirli dört fonemden oluşan sırayla (sesli dile getirilen) karşılaşan bir program yaratırsak bu söylenen sözcüğü tanıyabiliriz. Bu yaklaşımı kullanarak inşa ettiğimiz sistem bir dereceye kadar çalıştı fakat geniş sözcük dağarcığı, birden fazla konuşmacı ve sözcüklerin duraksız ve sürekli söylenmesi gibi niteliklerle başa çıkabilecek kadar iyi değildi. Her girdinin boyut dağılışını dahil etmek için hiyerarşik gizli Markov modeli tekniğini kullandığımızda ise performans hızla arttı.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Biyolojik Neokorteks

Önemli şeyler bir kılıfın içine girdiğinden, beynin için bir kafatasın, tarağın için plastik bir kılıfın ve paran için de cüzdanın var.

– GEORGE COSTANZA, *Seinfeld* dizisinin
"The Reverse Peephole" bölümünden

Şimdi, ilk defa, beynin işleyişini evrensel bir boyutta gözlemliyoruz. Bu berraklıkla muhteşem güçlerinin arkasındaki bütün programları keşfedebilmeliyiz.

– J. G. TAYLOR, B. HORWITZ ve K. J. FRISTON

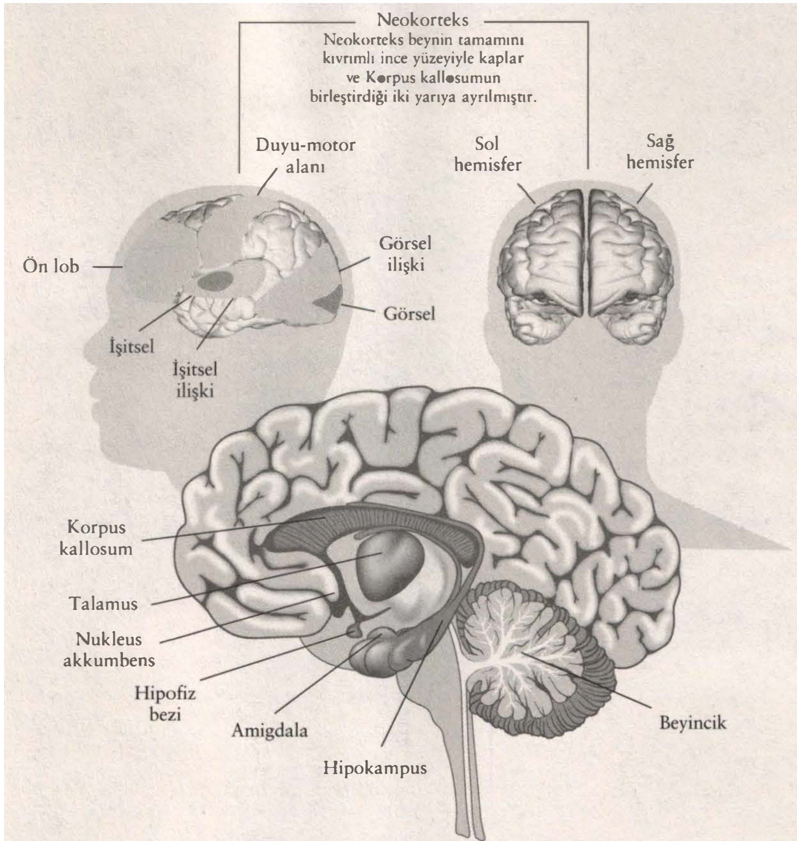
Zihin, kısaca, aldığı veriler üzerinde tıpkı bir heykeltıraşın taş bloğu üzerinde çalıştığı gibi çalışır. Bir anlamda heykel zamanın başlangıcından beri orada durmaktadır. Ancak yanında binlerce farklı heykel de vardı ve heykeltıraş bu heykeli diğerlerinden ayırdığı için teşekkür edilmesi gereken tek kişidir. Bu şekilde hepimizin dünyası, dünyamıza bakışımız ne kadar farklı olursa olsun hepimizin dünyası duyuların ilkel kaosuna gömülüdür ki bu da hepimizin düşüncesine aynı saf *maddeyi* vermiştir. Eğer istersek akıl yürüterek hepimiz bir şeyleri uzayın karanlık, eklentisiz sürekliliğine ve hareket eden yığın haldeki atom bulutlarına geri götürebiliriz ki bilim için burası tek gerçek dünyadır. Ancak sürekli olarak hissettiğimiz ve yaşadığımız dünya atalarımız ve bizler tarafından, tıpkı heykeltıraş gibi, basit bir şekilde verilen şeyin bazı kısımlarını reddederek yavaş ve birikerek yaptığımız seçim darbeleriyle ayrıştı. Farklı heykeltıraşlar, aynı kaya-

> dan çıkan farklı heykeller! Farklı zihinler, aynı monoton ve anlamsız kaostan çıkan farklı dünyalar! Bir milyon dünyanın gömülü olduğu yerden çıkan ve onlardan farklı dünyam, dünyasını soyutlaştıranlarınkine benzeyen dünyam. Bir karıncanın, mürekkep balığının ya da yengecin bilincindeki dünyalar birbirinden nasıl farklı olmalı?
>
> – William James

Zekâ biyolojik evrimin amacı, ya da amaçlarından biri midir? Steven Pinker "Beyinlerimiz hakkında şovenistiz, onları evrimin amacı olarak düşünüyoruz,"[1] der ve "bu hiçbir şey ifade etmiyor... Doğal seçilim zekâ için çaba göstermeye yakın bir şey bile yapmaz. Süreç belirli bir çevredeki üreyen organizmaların hayatta kalma ve üreme oranlarındaki farklılıklar tarafından ilerletilir. Zamanla, organizmalar onları o ortamda hayatta kalmaya ve üremeye adapte eden tasarımları kazanır, nokta. Orada, o zamanda onları başarıdan başka hiçbir şey bir yöne doğru çekmez" diye devam eder. "Yaşam çok yoğun dallanmış bir çalılıktır, bir ölçek ya da merdiven değil, ve yaşayan organizmalar da bu dalların ucunda bulunur, dalın gövdeden ayrıldığı yerde değil" diyerek de sonuçlandırır.

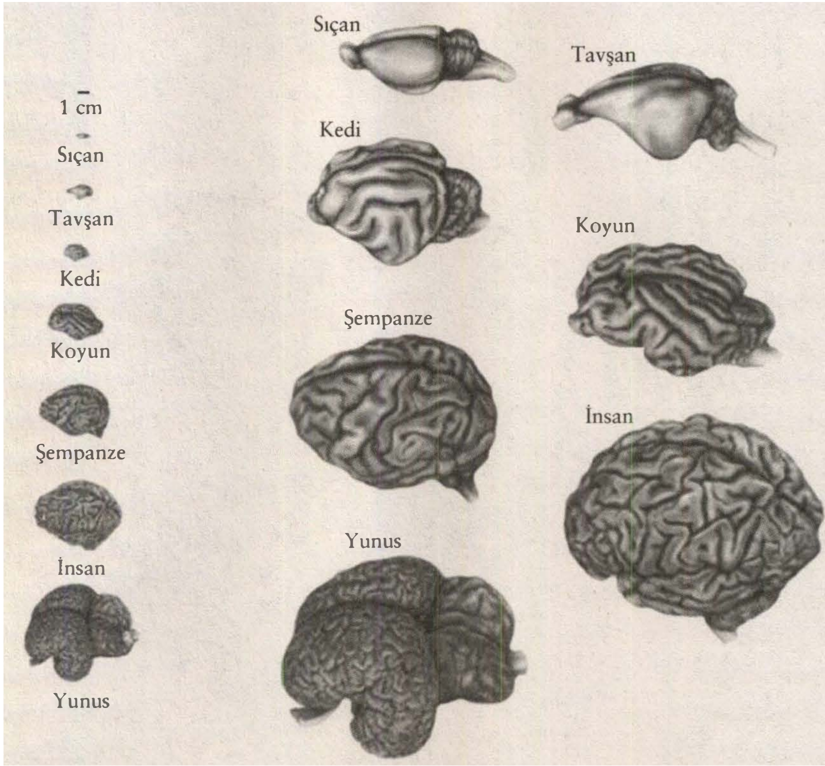
İnsan beynine gelince, "faydaların maliyetten daha ağır olup olmadığını" sorar. Maliyetleri sıralarken "beyin hantaldır. Kadın pelvisi (leğen kemiği) bebeğin fazlaca büyük kafasını ancak barındırır. Bu tasarım tavizi birçok kadını doğum yaparken öldürür ve bir eksen etrafında döner gibi yürüyüş gerektirir ki bu yürüyüş kadınları biyomekanik olarak erkeklerden daha verimsiz yürüyüşçüler hâline getirir" der. Eksiklikleri sıralarken beynin enerji tüketimini, yavaş tepki hızını ve öğrenmenin uzun bir süreç olduğunu ekler.

Bu cümlelerin her biri kendi içinde doğru olsa da (ki çoğu kadın arkadaşım benden daha iyi yürüyüşçüdür) Pinker burada genel noktayı kaçırıyor. Biyolojik olarak evrimin bir doğrultusunun olmadığı doğru. Evrim, doğanın "yoğun dallanmış bir çalılık" oluşunu tam anlamıyla yerine getiren bir arama yöntemidir. Evrimsel değişimlerin daha iyi zekâya doğru gelişmesinin *gerekmediği* de aynı şekilde doğrudur – evrim *her* yönde hareket eder. Milyonlarca yıl boyunca görece değişmeden kalmış birçok başarılı yaratık örneği var. (Örneğin timsahların tarihi 200 milyon yıl öncesine gider ve birçok mikroorganizmanın tarihi bundan daha da eski zamanlara gider.) Fakat büyük sayılardaki evrimsel dalları tamamen doldurma sürecinde evrim doğrultulardan birinde daha iyi zekâya doğru hareket eder. Bu tartışmanın amaçları doğrultusunda önemli olan nokta budur.



Beynin anahtar bölgelerinin fiziksel düzeni.

Bir kavanozda mavi gaz olduğunu düşünün. Kapağı açtığımızda tüm gaz moleküllerine "Hey millet, kavanozun kapağı açıldı; haydi kavanozun ağzına doğru hareket edip özgürlüğümüze kavuşalım," diyen bir mesaj gitmez. Moleküller her zaman yaptıkları şeyi yapmaya devam ederler, yani belirli bir doğrultuda olmadan her yöne doğru hareket ederler. Fakat bunu yaparken bazı kavanozun ağzına yakın olanlar gerçekten kavanozun dışına çıkar ve zamanla gaz moleküllerinin çoğu onları takip eder. Biyolojik evrim hiyerarşik öğrenme becerisine sahip bir sinirsel mekanizmaya rast geldiğinde bunu bir hedefi için oldukça faydalı buldu: hayatta kalma. Bir neokortekse sahip olmanın faydası güçlü hâle geldi çünkü çabucak değişen durumlar hızlı öğrenmeyi destekledi. Tüm canlı türleri –bitkiler ve hayvanlar– zamanla de-



Farklı hayvanlardaki neokorteks örnekleri.

ğişen durumlara adapte olmayı öğrenir fakat bir neokorteks olmadan genetik evrim sürecini kullanmak zorunda kalırlar. Bu yeni davranışlar öğrenme (ya da bitkiler için farklı stratejiler öğrenme) süreci neokorteksi olmayan bir canlı türü için pek çok nesil boyunca -binlerce yıl- sürebilir. Neokorteksin dikkat çekici hayatta kalma avantajı bir şeyi birkaç gün içinde öğrenebilmesine dayanıyor. Eğer bir canlı türü tamamen değişmiş bir durumla karşılaşırsa ve bu canlı türünden bir birey bu değişime ayak uydurmayı keşfeder, icat eder ya da tesadüfen bulursa (bu üç yöntem de gelişimin çeşitleridir) diğer bireyler bu durumu fark eder, öğrenir ve bu yöntemi taklit eder ve bu yöntem bir virüs gibi tüm popülasyona yayılır. Mesozoik-Paleojen dönemi tufanının sebep olduğu yok oluş olayı 65 milyon yıl önce gerçekleşti ve neokortekse sahip olmayan dolayısıyla ani değişmiş çevreye yeterince hızlı adapte olamayan birçok canlı türünün hızlı bir şekilde ölmesine sebep oldu. Bu olay neokortekse

sahip memelilerin ekolojik konumu devralmasını sağladı. Bu şekilde biyolojik evrim, neokorteksin hiyerarşik öğrenme yeteneğini oldukça değerli buldu ve bu yüzden beynin bu bölümü büyümeye devam etti, ta ki *Homo sapiens* beynini fiilen devralana dek.

Sinirbilimdeki keşifler ikna edici bir şekilde neokorteksin hiyerarşik becerileri tarafından oynanan önemli rolü resmileştirdi ve zihnin şekil tanıma teorisi (ZŞTT) için kanıt öne sürdü. Bu kanıt, birçok gözlem ve analiz arasında bölüştürüldü, bu parçalardan birini ben de burada gözden geçireceğim. Kanadalı psikolog Donald O. Hebb (1904-1985) öğrenmenin nörolojik altyapısını açıklamak için ilk girişimi yaptı. 1949 yılında nöronların deneyimlerine göre psikolojik olarak değişmelerinin mekanizmasını tarif etti, bu şekilde öğrenme ve beyin esnekliğiyle ilgili bir temel sağladı: 'Yansımalı bir etkinliğin sürekliliği ya da tekrarı kalıcı hücresel değişikliklerin hücrenin dengesine eklendiğini farz edelim... A hücresinin aksonu B hücresini uyaracak kadar B hücresine yakın olduğunda ve sürekli olarak ya da tekrarlı bir şekilde B hücresinin ateşlemesinde rol oynadığında, bir büyüme süreci ya da metabolik değişim –örneğin A hücresinin verimi, B hücresini ateşleyen hücrelerden biri olduğu için, artar– hücrelerin birinde ya da ikisinde de gerçekleşir.'[2] Bu teori "birlikte ateşleyen hücreler, birbirine bağlanır" (cells that fire together wire together) olarak adlandırıldı ve Hebbian öğrenmesi olarak bilinir hâle geldi. Hebb'in teorisi her açıdan kabul edildi çünkü bu teoride açıkça görülüyor ki beynin bölgeleri etkinliklerine bağlı olarak yeni bağlantılar kurabilir ve onları güçlendirebilir. Beyin taramalarında gerçekten böyle bağlantılar kuran nöronlar görebiliriz. Yapay "sinirsel ağlar" da Hebb'in nöronal öğrenme modelini temel alır.

Hebb'in teorisindeki merkez önerme neokorteksteki en basit öğrenme biriminin nöron olduğudur. Bu kitapta açık şekilde belirttiğim zihnin şekil tanıma teorisi farklı bir temel üniteyi: nöronun kendisini değil bunun yerine nöron takımlarını temel alır ki benim tahminim bu takımların sayıca yüz civarında nörondan oluştuğudur. Her birim *arasındaki* bağlanma gücü ve sinaptik güç görece daha kararlıdır ve genetik olarak belirlenir – yani her şekil tanıma modülü arasındaki düzen genetik tasarım tarafından belirlenir. Öğrenme birimlerin içinde yaratılanlar sayesinde değil bu birimler *arasında* yaratılan bağlantılar sayesinde, ve muhtemelen bu birimler arası bağlantıların sinaptik güçlerine bağlı olarak oluşur.

Öğrenmenin en basit modülünün düzinelerce nörondan oluştuğu fikrine yakın zamanlarda İsviçreli sinirbilimci Henry Markram'dan (1962 do-

ğumlu) –ki Henry Markram'ın Yedinci Bölüm'de açıklayacağım, tüm insan beynini stimüle etmeyi hedefleyen Blue Brain Project (Mavi Beyin Projesi) adlı büyük bir projesi var– destek geldi. 2011 yılında bir makalesinde Markram memeli neokorteksinde bulunan gerçek nöronların taramasını ve analizini yaparken nasıl "en basit düzeyde, korteksteki Hebb birleşmeleri için kanıt" aradığını yazıyor. Bunun yerine bulduğu şeyin ise "bağlanma ve sinaptik güçleri oldukça tahmin edilebilir ve kısıtlanmış olan, yakalanması zor beyin takımları" olduğunu söylüyor. Ve buradan "bu bulgular deneyimin bu takımların sinaptik bağlantılarını kolay kolay biçimlendiremediğini gösteriyor," sonucuna varıyor. "Bu bağlantılar doğuştan gelen, algılama sürecinde Lego'ya benzer bilgi yapı taşları olarak görev alıyorlar ve anı edinirken de bu yapı taşlarının kombinasyonu karmaşık yapılara dönüşüyor," diyerek yorum yapıyor. Markram devam ederken:

> Fonksiyonel sinirsel birleşmeler on yıllardır ortaya atılan bir konu fakat sinaptik olarak birleşmiş nöron kümelerine direkt bir kanıt... yoktu... Bu birleşmeler topolojide ve sinaptik ağırlıkta benzer olduğu için belirli herhangi bir deneyimle şekillendirilmediğinden bu birleşmelerin doğuştan geldiğini düşünürüz... Deneyim, bu birleşmelerdeki sinaptik bağlantıların oluşmasında ve ağırlığının belirlenmesinde küçük bir rol oynar... Çalışmamız birkaç düzine nörondan oluşan Lego benzeri yapı taşlarının doğuştan geldiğine dair bir kanıt buldu... Bu yapıların arasındaki bağlantılar onları bir neokortikal tabakadaki daha süper yapılar hâline getirebilir, sonra kortikal sütunda bulunan yüksek seviyeli yapılar hatta bir beyin bölgesindeki yüksek seviyeli yapılar ve en sonunda mümkün olan en yüksek seviyeli yapılar hâline gelerek bütün beyni oluşturabilir. Anı edinme Legolarla bir şey inşa etmeye çok benzer. Her yapı bir miktar doğuştan gelen, dünyayı işleme, algılama ve ona cevap vermeyle ilgili bilgiyi taşıyan basit bir Lego parçasına eştir. Farklı parçalar bir araya geldiğinde bu doğuştan gelen algıların kendine özgü bir kombinasyonunu oluşturur ve bu da bir bireyin bilgi dağarcığını ve deneyimlerini temsil eder.[3]

Markram'ın önerdiği "Lego parçaları" benim tarif ettiğim şekil tanıma modülleriyle tamamen tutarlıdır. Bir e-posta konuşmamızda Markram bu "Lego parçaları"nı "paylaşılan içerik ve doğuştan gelen bilgi"[4] olarak tarif etti. Ben bu modüllerin amacını şekilleri tanımak, onları hatırlamak ve kısmî şekilleri temel alarak şekli tahmin etmek olarak görüyorum. Markram'ın her modülün "birkaç düzine nöron" içermesi ile ilgili tahmininin neokorteksteki V. tabakayı temel aldığını not etmeliyiz. V. tabaka gerçekten nöronlar açısından zengindir fakat altı tabakadaki nöron sayısını temel alarak ulaşılan genel

oran her modül için aşağı yukarı 100 nöronun var olduğunu gösterir ki bu da benim tahminlerimle tutarlıdır.

Neokorteksin tutarlı devre sistemi ve görünür modülaritesinin altı yıllarca çizilmiştir, fakat beyin dinamik süreçlere girdikçe bu modüllerin kararlı kalması ilk defa bu çalışmayla gösterildi.

Bir diğer yakın tarihli Massachusetts General Hospital'da yapılan ve National Institutes of Health ve National Science Foundation tarafından desteklenen, 2012 yılının Mart ayında *Science* dergisinde yayınlanan çalışma da neokorteks boyunca bu bağlantıların düzenli bir yapı gösterdiğini yazıyor.[5] Makale neokorteksteki devre sistemini düzenli şehir sokaklarındaki ızgara örneğine benzetiyor: "Basit bir şekilde beynin genel mimarisi Manhattan'a benziyor, elinizde caddelerin iki boyutlu bir planı varmış gibi düşünün, üçüncü boyutta yükselen bir asansör ile birlikte," diyor Van J. Wedeen, kendisi Harvard'da sinirbilimci ve fizikçi, ayrıca çalışmayı yürütüyor.

Science dergisinin internet ortamındaki yayınında Wedeen araştırmanın önemini şu sözlerle vurguluyor: "Bu çalışma beyindeki yolların üç boyutlu yapısının bir soruşturmasıdır. Bilim insanları son yüz yıldır beyindeki yolları düşündüğünde gözlerinde canlanan tipik görüntü ya da model bu yolların bir kâse spagettiye benzeyebileceği idi – birbirine göre çok belirli olmayan uzaysal şekle sahip olan ayrı yollar. Manyetik rezonans görüntülemeyi kullanarak bu sorunun cevabını deneysel bir şekilde araştırabildik. Bunun üzerine bulduğumuz şey; rastgele düzenlenmiş ya da bağımsız yollardansa beyindeki bütün yolların hep birlikte incelendiğinde inanılmaz derecede basit tek bir yapıya uyduğuydu. Basit bir şekilde bir küp gibi görünüyorlar. Birbirine dik üç doğrultuda ilerliyorlar ve bu doğrultuların her birinde var olan yollar birbirine son derece paralel ve sıralı şekilde düzenlenmiş. Dolayısıyla birbirinden bağımsız spagettiler yerine beynin bağlantılarının, bir bakıma, birbirini tutan tek bir yapı olduğunu görürüz."

Markram çalışması neokorteks boyunca kendini tekrar eden nöron modüllerini gösterirken Wedeen çalışması modüller arasında hayret verici biçimde düzenli bir bağlantı şekli gösteriyor. Beyin, şekil tanıyıcı modüllerinin bağlantı kurabileceği yüksek sayıda olan "bekleyen bağlantılar"la işe başlıyor. Dolayısıyla eğer bir modül bir diğeriyle bağlanmak istiyorsa aralarındaki fiziksel uzaklığı alt etmek için bir akson uzatmasına ve karşıdan dendrit gelmesine ihtiyaç duymaz. Bunun yerine bekleyen bağlantıların aksonlarından faydalanır, lifin ucuna tutunması yeterlidir. Wedeen ve çalışma arkadaşlarının yazdığı gibi "Beynin yolları erken embriyojenezde belirlenen bir planı

izler. Dolayısıyla olgun beynin yolları üç primordiyal (başlangıçtan beri var olan) değişimin gelişirken fiziksel olarak deforme olan resmini sunar." Diğer bir deyişle, öğrendikçe ve deneyim kazandıkça neokorteksteki şekil tanıma modülleri bizler embriyoyken yaratılmış bağlantılara bağlanır.

Aynı prensibe sahip olan, alanda programlanabilir kapı dizileri (field programmable gate array (FGPA)) adı verilen elektronik çipler var. Bu çip bekleyen bağlantılar ile mantık fonksiyonlarını uygulayan milyonlarca modül içeriyor. Kullanıldığı zaman bu bağlantılar ya aktif hâle getiriliyor ya da (elektronik sinyaller sayesinde) devre dışı bırakılıyor ki belirli bir yeteneği uygulayabilsinler.

Neokortekste, kullanılmayan uzun mesafe bağlantılar er geç budanıyor, bu yüzden; hasar gören bölgeyi telâfi etmek için neokorteksteki yakın bir bölgeye adapte olmak, orijinal bölgeyi kullanmak kadar etkili değil. Wedeen çalışmasına göre başlangıçtaki bağlantılar tıpkı modüllerin kendileri gibi son derece sıralı ve tekrarlıdır, ayrıca ızgara şekli neokortekste "bağlantılara rehberlik etmek" için kullanılıyor. Bu şekil üzerinde çalışılan tüm maymungillerde ve insan beyinlerinde bulundu ve erken duyusal şekillerden yüksek seviye duygulara kadar neokorteks boyunca oldukça belirgindi. Wedeen'in *Science* dergisindeki makalesi "beyinsel yollardaki ızgara yapısının her tarafa nüfuz eden, uyumlu ve gelişimin üç esas ekseniyle devamlı olduğu" sonucuna vardı. Bu sonuç da yine bütün neokortikal fonksiyonlarda yaygın olan algoritmaya değiniyor.

Neokorteksin en azından belirli bölgelerinin hiyerarşik olduğu uzun zamandan beri biliniyor. En iyi çalışılan bölge V1, V2 ve MT (V5 diye de bilinir) gibi bölgelere ayrılan görsel korteks oldu. Bu bölgede daha yüksek alanlara ilerledikçe (yüksek burada kavramsal işleme anlamında kullanılıyor, fiziksel anlamda değil, zaten neokorteks her zaman yalnız bir şekil tanıma modülü kalınlığındadır), tanınabilen özellikler daha soyut hâle gelir. V1 son derece basit köşeleri ve ilkel biçimleri tanır. V2 sınırları, gözler tarafından sunulan görüntülerin farklılıklarını, uzaysal konumu ve bir görüntü parçasının bir nesne ya da bir arka plana ait olup olmadığını tanıyabilir.[6] Neokorteksteki daha yüksek seviyeli bölümleri nesnelerin kimliği, yüzler ve onların hareketleri gibi kavramları tanıyabilir. Bu hiyerarşi içindeki iletişimin hem yukarı hem aşağı yönlerde gerçekleştiği ayrıca sinyallerin hem harekete geçirici hem de engelleyici olduğu da uzun süredir biliniyor. MIT'deki bir sinirbilimci Tomaso Poggio (1947 doğumlu) insan beyninde görme eylemini kapsamlı olarak çalıştı ve araştırması, son otuz beş yıldır hiyerarşik öğrenme ve şekil tanı-

Neokorteksteki ilk bağlantıların oldukça düzenli ızgara yapısı National Institutes of Health araştırmasında bulundu.





Neokortikal bağlantılardaki düzenli ızgara yapısının bir başka görüntüsü.



Neokortekste bulunan ızgara yapısı hayret verici şekilde çaprazlayıcı anahtar denilen ve bütünleşmiş devrelerde ve devre kartlarında kullanılan yapınınkine çok benzer.

ma olaylarının "erken" (en düşük kavramsal basamak) basamaklarının görsel neokortekste gerçekleştiğini kanıtlamaya aracı oldu.[7]

Görsel neokorteksteki düşük hiyerarşik basamak anlayışımız bir önceki bölümde açıkladığım ZŞTT ile tutarlıdır, neokortikal işlemenin hiyerarşik doğasını gözlemlemek bu basamakların ötesine geçti. Texas Üniversitesi'nde nörobiyoloji profesörü olan Daniel J. Felleman ve çalışma arkadaşları "serebral korteksin hiyerarşik düzeninin 25 neokortikal alanda" izini sürdü, bu alanlara görsel bölgeler ve birden fazla duyudan gelen şekilleri birleştiren yüksek basamaklar da dahildi. Neokortikal hiyerarşinin basamaklarını tırmandıkça şekilleri işlemenin daha soyut hâle geldiğini, daha çok uzaysal alan kapladıklarını ve daha uzun süre işlendiğini buldular. Her bağlantıda, iletişimin hiyerarşide yukarı ve aşağı doğru olduğunu fark ettiler.[8]

Yakın zamanda yapılmış bir araştırma bu gözlemleri aslında görsel korteksten de öteye hatta birleşme alanlarına, birden çok duyu girdisini birleştiren alan, taşıyabilmemizi sağlıyor. 2008'de yayımlanan, Princeton'da psikoloji profesörü olan Uri Hasson ve çalışma arkadaşlarının yaptığı bir çalışma görsel kortekste görülen olayın çok çeşitli neokortikal alanlarda da göz-

lemlendiğini gösteriyor: "görsel kortikal yollar boyunca nöronların daha geniş alıcı alanlarının olduğu iyice belirlendi. Bu durum görsel sistemin basit bir düzen prensibi... Gerçek dünya olayları yalnızca uzaysal olarak genişlemez, zamanda da uzar. Dolayısıyla biz uzaysal alıcı alanının büyüklüğüne benzer bir hiyerarşinin farklı beyin bölgelerinin zamansal cevap verme özelliği için de var olması gerektiği hipotezini kurduk." Bu gerçekten tam olarak buldukları şey oldu, ve bu sayede "uzaysal alıcı alanlarının bilinen kortikal hiyerarşisine benzer bir hiyerarşi insan beyninde kademeli olarak artan zamansal alıcı pencereleri için de bulunuyor," sonucuna vardılar.[9]

Neokortekste işlemenin evrenselliği için en güçlü sav beynin plastisitesinin (yoğrulabilirlik), (sadece öğrenme değil aynı zamanda değişebilirlik) kanıtıdır: diğer bir deyişle, bir bölge başka bölgelerin işini yapabilir ki bu da tüm neokorteks boyunca yaygın bir algoritma önerir. Ciddi miktarda sinirbilim araştırması neokorteksin hangi bölgesinin ne tarz şekillerden sorumlu olduğunu belirlemeye odaklandı. Bunu belirlemek için kullanılan klasik teknik, yaralanma ya da felç sonucu oluşan beyin hasarından faydalanmak ve kaybolan fonksiyonu belirli zedelenmiş bölgelerle ilişkilendirmekti. Örneğin, bir kişinin fusiform girus'una (iğsi beyin kıvrımı) yeni bir hasar sonucu birdenbire insan yüzlerini tanımakta sıkıntı yaşadığını fakat kişileri seslerinden ve dili konuşma şekillerinden tanıyabildiğini fark ettiğimizde, bu bölgenin yüz tanıma ile ilgili bir şeyler yaptığı hipotezini kurabiliriz. Bu düşüncenin altında yatan varsayım bu bölgelerin her birinin belirli bir şekil türünü tanımak ve işlemek için tasarlandığı olmuştur. Belirli fiziksel bölgeler, belirli şekil türleriyle ilişkilendirilmiştir çünkü normal şartlar altında bilgi bu şekilde akar. Fakat ne zaman ki bu normal bilgi akışı herhangi bir sebeple kesintiye uğrar, neokorteksteki başka bir bölge bu görevi üstlenir.

Bir yaralanma ya da felç sonucu beyin hasarı oluşan hastaları gözlemleyen nörologlar tarafından "plastisite" bu hastaların aynı becerileri neokorteksin başka bir bölgesinde öğrenebilmesi olarak not edildi. Plastisitenin belki de en çarpıcı örneği 2011'de Amerikalı sinirbilimci Marina Bedny ve çalışma arkadaşları bir çalışmada doğuştan görme engelli olan kişilerin görsel korteksine ne olduğunu araştırırken görüldü. Yaygın görüş görsel korteksin V1 ve V2 gibi erken oluşan tabakaları doğası gereği çok düşük basamaklardaki şekillerle ilgilenirken (örneğin köşeler ve eğriler), frontal korteks (evrimsel olarak yeni bir bölge olan ve bize özgü geniş alın bölgesinde yer alan) doğası gereği daha karmaşık ve geç algılanan dil şekilleri ve diğer soyut kavramlarla ilgilenir. Fakat Bedny ve çalışma arkadaşlarının bulduğu kadarıyla "İn-

sanlar sol frontal ve temporal korteks evrimleştirerek dili kullanabilen tek varlıklar olmuşlardır. Bununla birlikte doğuştan görme engelli olan bireyler de bazı sözlü görevlerde görsel kortekslerini harekete geçirirler. Bu görsel korteks aktivitesinin aslında dil işleyişi olduğuna dair kanıt sağlıyoruz. Doğuştan görme engelli insanlarda sol görsel korteks klasik dil bölgeleri gibi davranır... Erken deneyime bağlı olarak görme için evrimleşmiş olan beyin bölgelerinin dili işleme görevini üstlendiği sonucuna varıyoruz."[10]

Bu çalışmadan çıkan anlamı düşünün: bu, fiziksel olarak birbirinden uzak olan neokortikal bölgelerin ve hatta kavramsal olarak birbirinden çok farklı olduğu düşünülen alanların (ilkel görsel ipuçlarına karşılık soyut dil kavramları) aslında aynı algoritmanın kullanıldığıdır. Bu birbirinden apayrı olan şekil türlerini işleyen bölgeler birbirlerinin yerine geçebilirler.

Berkeley'deki California Üniversitesi'nde çalışan sinirbilimci Daniel E. Feldman kapsamlı bir 2009 yılı değerlendirme yazısı yazdı, adına da "neokorteks plastisitesi için sinaptik mekanizmalar" dedi ve neokortekste bu tür bir plastisite için kanıt buldu. Feldman bu değerlendirmede, "plastisite beynin öğrenmesini ve duyusal dünyadaki şekilleri hatırlamasını sağlar, bu şekilde hareketleri arıtır ve yaralanma sonrası kaybedilen fonksiyonları yerine koyar," yazdı. Bu plastisitenin "oluşum, ortadan kaldırma, kortikal sinapsların ve dendritik dalların şekilsel olarak yeniden modellenmesi gibi yapısal değişiklikler" sayesinde mümkün kılındığını ekler.[11]

Bir diğer şaşırtıcı neokortikal plastisite örneği (ve dolayısıyla neokortikal algoritma benzerliği) de yakın zamanlarda Berkeley'deki California Üniversitesi bilim insanları tarafından gösterildi. Mikroelektrot dizilimlerini farelerin bıyık hareketlerini kontrol eden motor korteks bölgesine yerleştirerek beyin sinyali almayı amaçladılar. Öyle bir deney hazırladılar ki, fareler bu nöronları belirli bir zihinsel şekle göre kontrol edip aslında bıyıklarını hareket ettirmediklerinde ödüllendiriliyorlardı. Bu şekle göre bıyıklarını oynatıp ödül almaları normalde frontal kortekslerinin hâlihazırda yaptığı bir zihinsel görev içeriyordu. Fareler bu zihinsel beceriyi motor nöronlarıyla düşünerek fakat zihinsel olarak onları motor hareketlerden uzaklaştırarak uygulayabiliyorlardı.[12] Sonuç şu ki, motor korteks yani neokorteksin kas hareketlerini koordine etmekten sorumlu bölgesi de standart neokortikal algoritmayı kullanır.

Bununla birlikte, yeniden öğrenilmiş bir beceri ya da bir bilgi alanının neokortekste yeni bir alan kullanarak hasar görmüş olan eski bölgenin görevlerini üstlenmesi ilk bölge kadar iyi olmamasının bazı sebepleri var. Öncelikle, verilen bir beceriyi mükemmel bir şekilde öğrenmek bir yaşam kadar uzun

sürer, bu beceriyi neokortekste yeni bir alanda tekrar öğrenmek anında aynı sonuçları yaratmaz. Daha da önemlisi, neokorteksteki bu yeni alan hasar görmüş bir bölgenin yerini almak için oturup beklemez. Bu yeni bölge de hayati fonksiyonlara sahiptir, dolayısıyla hasar görmüş bölgeyi telafi etmek için kendi neokortikal şekillerinden vazgeçerken tereddüt yaşayacaktır. İşe bazı fazla şekil kopyalarından serbest bırakmakla başlar fakat bunu yapmak var olan becerilerini sinsice aşındıracaktır ve yeniden öğrenilen becerilerin eskiden kapladığı kadar kortikal yer açılmayacak.

Plastisitenin sınırlarının olmasının bir üçüncü sebebi daha var. Çoğu insanda belirli şekil türleri belirli bölgelere akacağı için (örneğin yüzler fusiform girusunda işlem görür) bu bölgeler bu tür şekiller için (biyolojik evrim sayesinde) optimize olmuştur. Yedinci Bölüm'de anlatacağım gibi, aynı sonucu dijital neokortikal gelişmelerde de bulduk. Konuşmayı kendi karakter tanıma sistemimizle tanıyabilirdik fakat konuşma sistemleri konuşma için optimize edilmişti ve karakter tanıma sistemleri de aynı şekilde basılı karakterleri tanıma için optimize edilmişti, dolayısıyla birini diğerinin yerine koyduğumuzda performansta bir düşüş olurdu. Aslında bu optimizasyonda başarılı olmak için evrimsel (genetik) algoritmalar kullandık, bu biyolojinin doğal bir şekilde yaptığı bir simülasyon. Çoğu insan için binlerce yıl (belki daha fazla bir süre) boyunca yüzler fusiform girusa doğru aktığı için biyolojik evrimin bu tür şekilleri o bölgede işleyebilmeye evrilmesi için zamanı vardı. Biyolojik evrim de aynı basit algoritmayı kullanır fakat bu durumda bu algoritma yüzlere yöneliktir. Hollandalı sinirbilimci Randal Koene'nin yazdığı gibi, "[Neo] korteks oldukça geneldir, her sütun ya da minisütun prensipte diğerlerinin yaptığı şeyi yapabilir."[13]

Yakın zamanlarda yapılmış önemli bir bir araştırma şekil tanıma modüllerinin maruz kaldıkları şekillere bağlı kalarak kendi kendilerine birbirlerine lehimlendiklerini (*wiring*) destekliyor. Örneğin sinirbilimci Yi Zuo ve çalışma arkadaşları bir fare yeni bir beceri öğrenirken (yem alabilmek için deliğe uzanırken) sinir hücreleri arasında 'dendritik dallar' şeklinde bağlantılar oluştuğunu izledi.[14] Salk Institute'teki araştırmacılar neokorteks modülleri arasındaki bu kritik özlehimlenmenin yalnızca bir avuç dolusu gen tarafından kontrol edildiğini keşfetti. Bu genler ve özlehimlenme metodu da neokorteks boyunca değişmeyen bir özellik.[15]

Diğer birçok çalışma neokorteksin bu niteliğini belgeliyor fakat sinirbilim literatüründen ve kendi düşünme deneylerimizden neler gözlemleyebileceğimizi özetleyelim. Neokorteksin en basit elemanı nöronlar modülü, benim

tahminimce bir modülde yüz kadar nöron bulunuyor. Bu nöronlar birlikte bir neokortikal sütunu oluşturuyor ki görünürde, bu modüller birbirinden pek de farklı görünmüyor. Her modüldeki bağlantı şekli ve sinaptik güç görece kararlı. Öğrenmeyi temsil eden şey modüller *arası* bağlantılar ve sinaptik güç.

Neokortekste katrilyon seviyesinde (10^{15}) bağlantı vardır, fakat genomda (kayıpsız bir sıkıştırma sonrasında) 25 milyon bit tasarım bilgisi vardır,[16] dolayısıyla bağlantıların kendileri genetik olarak belirlenmiş olamaz. Öğrenme, neokorteksin eski beyni sorgulamasının sonucu olabilir fakat bu da bilginin görece küçük bir kısmını temsil eder. Modüller arası bağlantılar tamamen deneyimler (doğadan ziyade yetiştirme) sayesinde yaratılır.

Beyin, her neokortikal şekil tanıma modülünün basit bir şekilde bir diğer modülle bağlantı kurabilmesi için yeterli esnekliğe sahip değildir (bu durumu kolaylıkla bilgisayarlarımızda ya da internet ağında programlayabiliriz) – aslında fiziksel bağlantı bir aksonu dendrite bağlayabilecek seviyede yapılmalıdır. Her birimiz bir yığın muhtemel nöron bağlantısıyla başlarız. Wedeen çalışmasının gösterdiği gibi bu bağlantılar oldukça tekrarlı ve sıralı şekilde düzenlenmiştir. Bekleyen aksonlarla yapılan son bağlantı her neokortikal şekil tanıyıcının sorumlu olduğu şekli tanıması temel alınarak yapılır. Kullanılmayan bağlantılar en nihayetinde kaybolur. Bu bağlantılar hiyerarşik bir şekilde inşa edilir ve gerçekliğin doğal hiyerarşik düzenini yansıtır.

Neokortikal şekil tanıyıcı modüllerinin basit algoritması, en basit duyusal şekilleri tanıyan "alt basamak" modüllerinden, en soyut kavramları tanıyan "üst basamak" modüllerine kadar neokorteks boyunca eştir. Plastisiteye dair var olan pek çok kanıt ve neokortikal bölgelerin birbirleri arasında değişebilirliği bu önemli gözlem için vasiyet niteliğinde. Belirli şekil türleriyle ilgilenen bölgelerde bir optimizasyon mevcut fakat bu ikinci dereceden bir etki oluşturuyor, temel algoritma ise evrensel.

Sinyaller kavramsal hiyerarşide yukarı ve aşağı doğru gidiyor. Yukarı çıkan bir sinyal "Ben bir şekil yakaladım" demiş oluyor. Aşağı giden sinyal ise "Şekil yakalamanı bekliyorum" anlamına geliyor ve bu aslında bir tahmin. Yukarı doğru olan sinyaller de aşağı doğru olan sinyaller de harekete geçirici ya da engelleyici olabilir.

Her şekil başlı başına belirli bir düzen içinde ve henüz ters çevrilmemiş halde. Bir şekil birden çok boyutlu gibi görünse de tek boyutlu alt basamak şekilleriyle temsil edilir. Bir şekil diğer şekillerin düzenli bir sırasıdır, bu yüzden her tanıyıcı doğası gereği tekrarlamalıdır. Hiyerarşide birçok basamak bulunabilir.

Öğrendiğimiz şekiller arasında ciddi boyutlarda fazlalık vardır, özellikle de önemli şekiller için. Şekillerin tanınması (yaygın nesneler ve yüzler gibi) anılarımızla aynı mekanizmayı kullanır ki anılar da öğrenmiş olduğumuz şekillerdir. Anılarımız da şekil dizileri olarak saklanır – basitçe anılarımız hikâyelerdir. Bu mekanizma öğrenme olaylarında ve dünyadaki fiziksel hareketlerde de kullanılır. Şekillerin fazlalığı, farklı konularda çeşitlilik gösterseler de nesneleri, insanları ve fikirleri tanımamızı sağlar. Büyüklük ve büyüklük çeşitliliği parametreleri, neokorteksin farklı boyutlara karşılık gelen büyüklüklerin çeşitliliğini kodlamasını sağlar (örneğin bir ses için sesin süresini kodlamayı sağlar). Bu büyüklük parametrelerinin kodlanmasının bir yolu, basitçe; birden çok şeklin, değişen girdi sayılarına göre kodlanmasıdır. Örneğin, "steep" sözcüğünün telaffuzu için bazı şekiller vardır ve bunların her birinde uzun [E] sesi farklı şekillerde tekrarlanır, bu tekrarların hepsinde önem parametresi orta dereceye ayarlanmıştır ki bu da [E] tekrarının çeşitli olduğunu belirtir. Bu yaklaşım matematiksel olarak açıkça belli olan büyüklük parametrelerine eş değil ve pratikte de iyi çalışmıyor fakat büyüklüğü kodlamak için var olan bir yaklaşım. Bu parametreler için sahip olduğumuz en güçlü kanıt, yapay zekâ sistemlerimizde insan seviyesine yakın olan kesin değerler almak için onlara ihtiyacımızın olduğudur.

Yukarıdaki özet daha önce bahsettiğim düşünme deneyleri örnekleriyle birlikte yukarıda bahsettiğim araştırma sonuçlarının örneklemelerinden oluşuyor. Sunduğum modelin araştırmalar ve düşünme deneylerinin belirlediği bütün kısıtlamaları tatmin edecek tek muhtemel model olduğunu savunuyorum.

Son olarak, bir ek delil daha var. Geçtiğimiz birkaç on yılda, gerçek dünya olaylarını (insan konuşması ve yazılı dil gibi) tanımak ve zekice işlemek için ve doğal dil belgelerini anlamak için evrimleştirdiğimiz yapay zekâ alanındaki teknikler matematiksel olarak yukarıda sunduğum modele benziyor. Bunlar aynı zamanda ZŞTT'nin örnekleridir. Yapay zekâ alanı açıkça beyni kopyalamaya çalışmıyordu fakat yine de temelde eşdeğer teknikler geliştirdi.

BEŞİNCİ BÖLÜM

Eski Beyin

Eski bir beynim fakat mükemmel bir hafızam var.

– AL LEWIS

Burada, dünyanın ortasında, basit mağara yaşamına uyum sağlamış, ilkel beynimizle ayakta duruyoruz, bir yanda mükemmel güçleri hazır bulunduruyoruz. Bunları serbest bırakacak kadar zekiyiz fakat bunların sonuçlarını idrak edemiyoruz.

– ALBERT SZENT-GYÖRGYI

Memeli olmadan önce sahip olduğumuz eski beynimiz henüz ortadan kaybolmadı. Aslında hâlâ hoşnutluk ararken ve tehlikeyi önlerken eski beynimiz motivasyonumuzun çoğunu sağlıyor. Bu amaçlar neokorteksimiz tarafından modüle ediliyor ki neokorteks beynimizde hem ağırlık hem de etkinliği domine ediyor.

Hayvanlar neokorteks olmadan yaşayıp hayatta kalma mücadelesi veriyorlardı ve aslında memeli olmayan tüm hayvanlar bugün de aynı şekilde devam ediyor. İnsan neokorteksini en büyük yüceltici olarak görebiliriz – dolayısıyla büyük bir avcıdan kaçınma ile ilgili ilkel motivasyonumuz bugün neokorteks tarafından patronumuzu etkilemek için bir görevi bitirmeye dönüştürülmüş olabilir; avlanma içgüdüsü de örneğin zihin ile ilgili kitap yazmaya dönüşmüştür ve üretim ihtiyacı da insanlar tarafından tanınma ya da evinizi dekore etme gibi isteklere dönüşmüş olabilir. (Bu son motivasyon her zaman çok da saklı değildir.)

Neokorteks de aynı şekilde problemleri çözmemize yardımcı olma konusunda iyidir çünkü dünyayı net bir şekilde modelleyebilir ve hiyerarşik doğasını yansıtır. Ancak bizi bu problemlerle karşı karşıya getiren eski beynimizdir. Elbette, her akıllı bürokrasi gibi, neokorteks de problemlerle başa çıkarken onları tekrar tanımlayarak işe başlar. Bunu da not etmiş bulunarak eski beyindeki bilgi işleminin nasıl olduğunu gözden geçirelim.

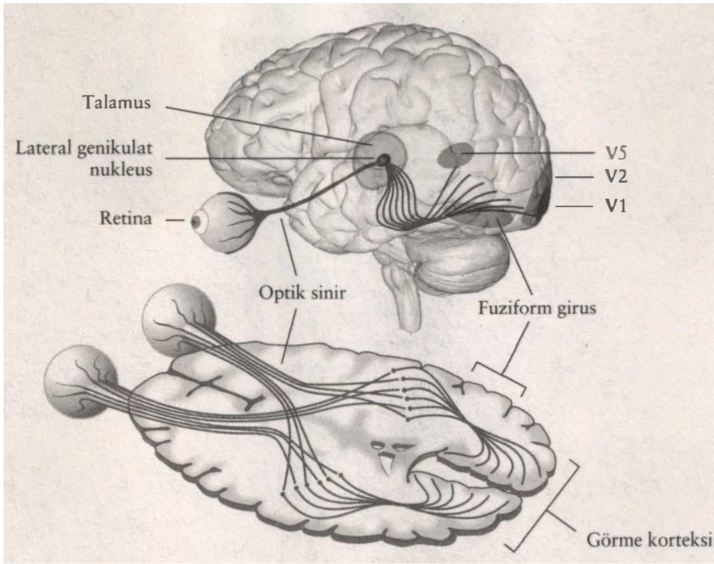
DUYU YOLLARI

> Görmenin sebebi, beyinde optik sinirler üzerinde hareket ile yayılan resimlerdir.
>
> – Isaac Newton

> Her birimiz kendi beynimizin evreninde –hapishanesinde– yaşarız. Ondan çıkan milyonlarca kırılgan duyusal sinir lifleri, gruplar hâlinde özgün bir şekilde etrafımızdaki dünyanın örnek enerji seviyelerine örneğin; ısı, ışık, kuvvet ve kimyasal bileşenlere uyum sağlamıştır. Beyinle ilgili bildiğimiz en direkt şey budur, diğer her şey mantıksal çıkarımdır.
>
> – Vernon Mountcastle[1]

Gözlerimizle yüksek çözünürlüklü görüntü görme ilüzyonunu deneyimlesek de optik sinir aslında beyne sadece görsel alanda bulunan ilgi noktaları hakkında ipuçları ve bir dizi taslak gönderir. Daha sonra biz dünyayı paralel kanallara ulaşan düşük veri oranlarıyla bir dizi hareketli görüntü canlandıran kortikal anılarımız üzerinden sanrı olarak görürüz. *Nature* dergisinde yayımlanan, California University of Berkeley'de moleküler ve hücre biyolojisi profesörü Frank S. Werblin ve doktora öğrencisi Boton Roska MD. tarafından yapılmış olan çalışma, optik sinirin on ilâ on iki arası çıktı kanalı taşıdığını ve bunların her birinin verilen sahne ile ilgili yalnızca küçük miktarda bilgi taşıdığını gösterdi.[2] Ganglion (sinir düğümü) hücreleri adı verilen bir grup sadece uçlar (kontrasttaki değişimler) ile ilgili bilgi gönderir. Bir diğer grup eşit şekilde dağılmış renklerden oluşan büyük alanları algılar, bunun yanı sıra üçüncü grup da sadece ilgi odağında bulunan figürlerin arkasında kalan alana duyarlıdır.

> "'Dünyayı çok dolu gördüğümüzü düşünsek de, algıladığımız şeyler aslında yalnızca uzay ve zamandaki ipuçları ve köşelerdir,' diyor Werblin.

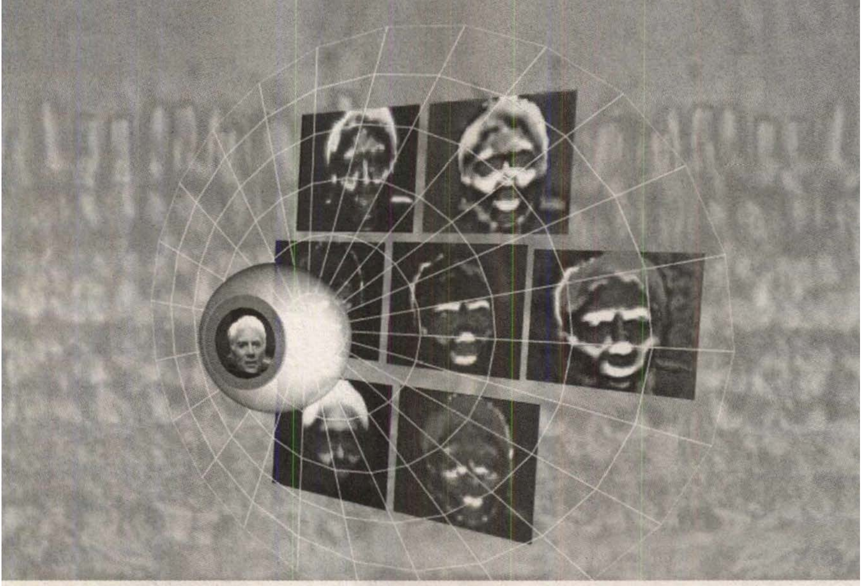


Beyindeki görme yolu.

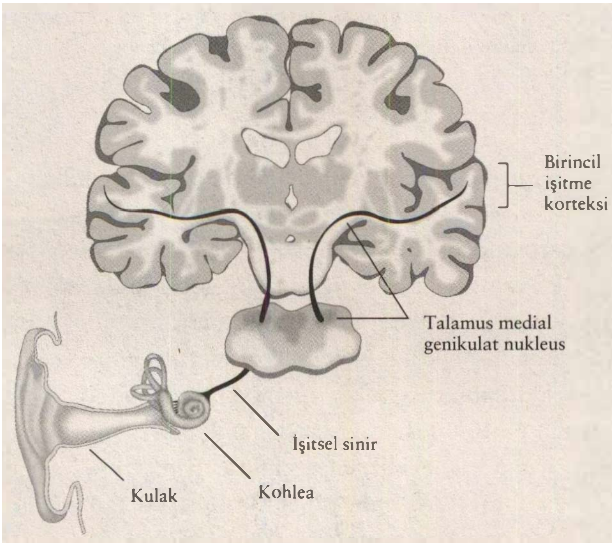
'Dünyayla ilgili bu 12 resim, dışarıda olan bitenle alakalı sahip olacağımız bütün bilgiyi oluşturur, ve oldukça seyrek olan bu 12 resimden görsel dünyanın zenginliğini tekrardan inşa ederiz. Doğanın bu 12 basit resmi nasıl seçtiğini ve ihtiyacımız var gibi görünen bütün bu bilgiyi sağlamak için bu resimlerin nasıl yeterli olduğunu merak ediyorum."

Bu veri indirgemesi, yapay zekâ alanında "seyrek kodlama" dediğimiz şeydir. Yapay sistemler yaratırken, giren bilginin büyük kısmını atmanın ve sadece en göze çarpan detayları muhafaza etmenin mükemmel sonuçlar verdiğini bulduk. Aksi takdirde neokortekste (biyolojik ya da yapay bir neokortekste) bilgi işlemenin kısıtlı kapasitesi aşılmış olur.

İşitsel bilginin insan kohleasından, korteks altı bölgelere ve oradan da neokorteksin ilk katmanlarına varan işlem süreci Lloyd Watts ve Audience Inc.'teki araştırma ekibi tarafından modellendi.[3] Sesten 600 farklı frekans bandı (her oktav için 60 tane) elde eden bir araştırma teknolojisi geliştirdiler. Bu, insan kohleası tarafından elde edilen 3.000 bant tahminine (16 ila 32 bant ayırdedebilen ticari konuşma tanıma sistemleriyle karşılaştırıldığında) yaklaşan bir sayı. İki mikrofon kullanarak ve bunların ayrıntılı (ve yüksek

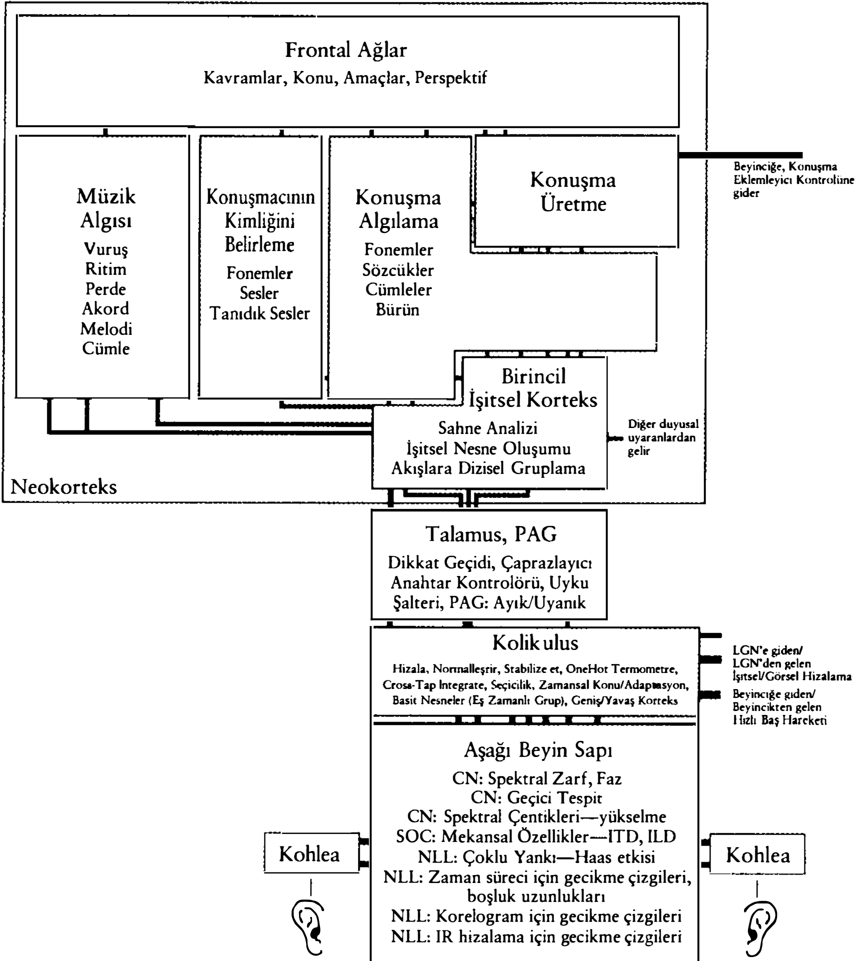


Optik sinir tarafından beyne gönderilen on iki düşük veri oranlı "filmin" yedi tanesi.



Beyindeki işitsel yol.

spektral çözünürlüğünü) ses işleme modelini geliştirerek Audience, konuşmalardan arka plan gürültüsünü etkili bir şekilde kaldıran ticari bir teknoloji (araştırma sisteminden biraz daha düşük spektral çözünürlüğe sahip bir teknoloji) yarattı. Bu teknoloji, birçok popüler cep telefonunda kullanılan ve insan ses algılama sisteminin ilgilendiği bir ses kaynağına nasıl odaklandığını anlamayı temel alan bir ticari ürünün etkileyici bir örneğidir.



Hem korteks altı alanlarda hem de neokorteksteki işitsel işlemlerin Audience Inc. tarafından yaratılan basitleştirilmiş modeli. Şekil J. Liu vd. içindeki L. Watts, "Reverse Engineering the Human Auditory Pathway", WCCI 2012 (Berlin: Springer-Verlag, 2012), s. 49'dan alınmıştır.

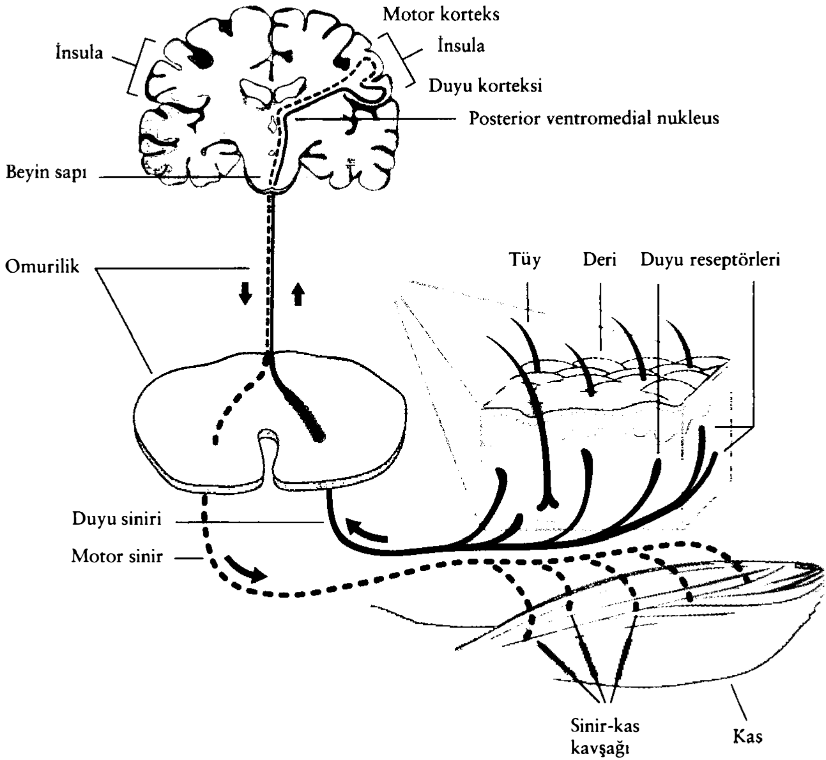
Vücuttan gelen girdiler (tahminen saniyede yüzlerce megabit), deriden, kaslardan, organlardan ve diğer bölgelerden gelen sinirler de dahil, omuriliğin üst kısmına doğru akar. Bu mesajlar dokunma ile ilgili iletişimden daha fazlasını içerir; sıcaklık derecesi, asit seviyeleri (örneğin kaslardaki laktik asit miktarı), sindirim yolunda giden yemeğin hareketi ve başka birçok sinyal. Bu veri beyin kökü ve orta beyinde işlenir. Lamina I nöronları adı verilen önemli hücreler vücudun bir haritasını yaratır, uçuş kontrolü yaparken ya da uçakları izleyen ekranlardan çok da farklı olmayan bir şekilde vücudun güncel hâlini temsil eder. Buradan da duyusal veri talamus adı verilen gizemli bir bölgeye gider, ki bu da bizi bir sonraki konumuza getiriyor.

TALAMUS

> Dikkatin ne olduğunu herkes biliyor. Zihin tarafından, açık ve yalın bir halde, birkaç eş zamanlı muhtemel nesne ya da düşünce şekillerinden birinin seçilmesidir. Bilincin odaklanması, konsantre olması dikkatin özüdür. Dikkat bazı şeylerle etkili bir şekilde ilgilenmek için diğer şeylerin bırakılmasıdır.
>
> – William James

Orta beyinden gelen duyusal bilgi, talamusun posterior ventromedial nukleus (VMpo) adı verilen fındık büyüklüğündeki bölgesine gelir, bu bölge vücut durumlarına göre karmaşık tepkileri hesaplar, örneğin "şunun tadı çok kötü", "öf ne pis koku" ya da "bu ışık dokunuşu insanı harekete geçiriyor." Gitgide daha da çok işlem gören bilgi, neokorteksin insula adı verilen bölgesinde son bulur. Bu yapılar, küçük parmak büyüklüğündedir ve neokorteksin sol ve sağ yanında yer alır. Phoenix'te bulunan Barrow Neurological Institute'ten Dr. Arthur Craig VMpo ve iki insula bölgesini "maddesel ben'i temsil eden sistem" olarak tarif eder.[4]

Diğer fonksiyonlarının yanında, talamus önceden işlenmiş bilginin neokortekse girmesi için talamus bir kapı gibidir. VMpo'da dolaşan dokunsal bilgiye ek olarak optik sinirden gelen işlenmiş bilgi (ki yukarıda not edildiği gibi, bu bilgi özünde değişim geçirmiştir) talamusun lateral genikulat nukleusuna gönderilir ve buradan da neokorteksin V1 bölgesine gönderilir. İşitsel duyudan gelen bilgi, neokorteksin ilk işitsel bölgelerine gitmek üzere talamusun medial genikulat nukleus adlı bölgesine gelir. Tüm duyusal verimiz (koku alma sistemi hariç, çünkü koku alma sistemi burun soğanını kullanır) talamusun belirli bölgelerine gelir.



Beyindeki duyu-dokunma yolu.

Talamusun en belirgin rolü ise neokorteksle devamlı iletişim hâlinde olmasıdır. Neokorteksteki şekil tanıyıcılar talamusa kesin olmayan sonuçlar gönderirler ve birincil olarak harekete geçirici ve engelleyici çapraz sinyaller kullanarak her şekil tanıyıcı için VI. tabakadan cevap alırlar. Bunların kablosuz mesaj olmadığını aklımızda tutmalıyız, dolayısıyla ortada neokorteksin bütün bölgeleriyle talamus arasında gidip gelen ciddi miktarda kablolaşma (akson şeklinde kablolar) olmalı. Neokorteksteki yüz milyonlarca şekil tanıyıcının sürekli olarak talamusla birbirini denetlediğini ve inanılmaz miktardaki taşınmazları (fiziksel kütle ve gereken bağlantılar açısından) düşünün.[5]

O zaman yüz milyonlarca neokortikal şekil tanıyıcı talamusla ne hakkında konuşuyor? Görünüşe bakılırsa bu oldukça önemli bir konuşma, çün-

kü talamusun ana bölgesine gelebilecek ciddi bir hasar iki taraflı uzun süreli bilinç kaybına yol açabilir. Zedelenmiş bir talamusa sahip olan bir kişinin neokorteksinde hâlâ etkinlik olabilir, çağrışımdan gelip kendini tetikleyen düşünme hâlâ çalışabilir. Fakat yönlendirilmiş düşünme –bizi yataktan kaldıran, arabaya binmemizi sağlayan ve işyerinde masamızda oturmamızı sağlayan düşünme– talamus olmadan fonksiyonlarını yerine getiremez. Ünlü bir vak'ada yirmi bir yaşındaki Karen Ann Quinlan; kalp krizi ve solunum yetmezliği yaşamıştı, on yıl boyunca tedaviye cevap vermedi ve görünüşte bitkisel hayattaydı. Öldüğünde yapılan otopsi Karen'ın neokorteksinin normal olduğunu fakat talamusunun yıkılmış olduğunu gösterdi.

Dikkatimizi yönlendirme becerimizde kilit rol oynaması için talamusun neokortekste bulunan yapılandırılmış bilgiye dayanması gerekiyor. Bir listeyi (neokortekste saklanan) adımlayabilir, bu şekilde bir düşünce dizini ya da hareket planını takip etmemizi sağlar. Görünen o ki, işler belleğimizde aynı anda dört maddeyle başa çıkabiliyoruz, MIT Picower Institute for Learning and Memory'de yakın zamanda yapılan bir araştırmaya göre her beyin lobu başına iki madde düşüyor.[6] Talamus mu neokorteksten sorumlu yoksa durum tam tersi mi sorusu açık olmaktan oldukça uzak, fakat ikisi de olmadan işlev görmemiz mümkün değil.

HİPOKAMPUS

İki beyin hemisferi de hipokampusa sahiptir, hipokampus; medial temporal loba tıkılmış denizatına benzeyen küçük bir bölgedir. Öncelikli görevi, alışılmışın dışında olan olayları hatırlamaktır. Duyusal bilgi neokortekste aktığı için bir deneyimin hipokampusa sunulmak üzere tuhaf olduğunu belirlemek neokorteksin görevidir. Bunu, bir dizi belirli özelliği (örneğin yeni bir yüzü) tanımakta başarısız olduğunda ya da normalde bilinen bir durumun şimdi kendine özgü taraflarının olduğunu fark ettiğinde (örneğin eşinizi sahte bıyık takarken gördüğünüzde) yapar.

Bu durumları hatırlamayı, birincil olarak gerçekleştirmek neokorteksteki göstergeler yapıyor olsa da hipokampus bu beceriye sahiptir. Dolayısıyla hipokampusta saklanan anılar aynı zamanda daha önce tanınmış alt basamak şekilleri olarak neokortekste de saklanır. Neokorteksi olmayan hayvanlarda duyusal deneyimleri ayarlamak için hipokampus, basitçe, duyulardan gelen bilgiyi duyusal ön işleme tabi tutulmuş olsa da (örneğin, optik sinir tarafından gerçekleştirilen dönüşümler), hatırlayacaktır.

Hipokampus neokorteksten karalama tahtası olarak faydalanıyor olsa

da (belirli bir beynin neokortekse sahip olduğu durumda), hipokampusun belleği (neokorteksteki göstericilerde olduğu gibi) doğası gereği hiyerarşik bir yapıda değil. Neokorteksi olmayan hayvanlar hipokampuslarını kullanarak bir şeyleri hatırlayabilirler fakat bu anıları geri çağırma işlemi hiyerarşik olmayacaktır.

Hipokampusun kapasitesi sınırlıdır, dolayısıyla kısa dönem bellektir. Belirli bir şekil dizisini kısa dönem bellekten neokorteksteki uzun dönem belleğe bu anı dizisiyle sürekli olarak oynayarak aktarır. Dolayısıyla, yeni anılar ve beceriler öğrenmek için (motor becerilerimiz kesinlikle farklı bir mekanizma kullanıyor gibi görünse de) bir hipokampusa ihtiyacımız var. Hipokampusun iki işlevi de hasar görmüş bir kişi var olan anılarını koruyacak fakat yenilerini oluşturamayacaktır.

Southern California University'de sinirbilimci olan Theodore Berger ve çalışma arkadaşları bir sıçanın hipokampusunu modelledi ve yapay bir hipokampusu sıçanın vücuduna yerleştirerek başarılı deneyler yaptı. 2011'de bildirilen bir çalışmaya göre Southern California University'deki bilim insanları sıçanlarda öğrenilmiş belirli davranışları ilaçlar kullanarak bloke ettiler. Yapay bir hipokampus kullanarak sıçanlar aynı davranışları hızlıca tekrardan öğrendiler. "Şalteri aç, sıçanlar hatırlıyor. Şalteri kapat, sıçanlar unutuyor," diyor Berger, sinirsel implantı uzaktan kullanabildiğini anlatırken. Bir başka deneyde bilim insanları yapay hipokampusun sıçanların sahip olduğu doğal hipokampusun yanı sıra çalışmasını sağladı. Sonuç, sıçanların yeni davranışlar öğrenme becerisinin daha da güçlenmesi oldu. 'Bu bütünleşmiş deneysel modelleme çalışmaları ilk defa sinirsel bir protezin kodlama sürecinin gerçek zamanlı kimliğini saptayabilmesi ve bu süreci manipüle edebilmesi bilişsel bellek güçlendirme sürecini yeniden kurabildiğini ve hatta geliştirdiğini gösterdi.'[7] Hipokampus, Alzheimer hastalığı ile hasar gören ilk bölgelerden biri, bu yüzden bu araştırmanın bir amacı insanlar için hastalığın ilk fazındaki hasarı hafifletecek sinirsel bir implant geliştirmekti.

BEYİNCİK

Uçan bir topu yakalamak için kullanacağınız iki yol vardır. Topun hareketini kontrol eden karmaşık ve eş zamanlı diferansiyel denklemleri hatta topu gördüğünüz belirli açıya hükmeden denklemleri çözebilir daha sonra vücudunuzu, kolunuzu ve elinizi doğru zamanda doğru yere nasıl hareket ettireceğinize dair daha fazla denklemi de hesaplayabilirsiniz.

Beyninizin kullandığı yol bu değildir. Beyin, basit bir şekilde, birçok denklemi basit bir eğilim modeline yığarak sorunu kolaylaştırır, bunu yapar-

ken de topun sizin görsel alanınızda nerede göründüğünü ve bu görsel alan içerisinde ne kadar hızlı hareket ettiğini hesaba katar. Eliniz için de aynı şeyi yapar, topun görüş alanınızdaki belirgin pozisyonu ve elinizin yerine dair temelde doğrusal olan tahminler yapar. Amaç tabii ki, uzayda ve zamanda elinizle topun aynı noktada olmasıdır. Eğer top çok hızlı geliyor ve eliniz de çok yavaş hareket ediyor gibi görünüyorsa beyniniz elinizi daha hızlı hareket etmesi için yönlendirecektir, dolayısıyla eğilimler birbiriyle örtüşecektir. Bu "kördüğüm" çözümü sayesinde çözülemeyecek bir matematik problemi olmaktan çıkan problemler "temel fonksiyon" olarak adlandırılır ve beyincik tarafından gerçekleştirilir. Beyincik fasulye şeklinde ve beyzbol topu büyüklüğündedir ve beyin kökü üzerinde bulunur.[8]

Beyincik eski beynin, bir zamanlar neredeyse tüm insan türlerinin hareketlerini kontrol eden bölgesidir. Beyincik hâlâ beyindeki nöronların –çoğu görece küçük olsalar da– yarısını içerir, bu yüzden bu bölge beynin ağırlığının yalnızca % 10'unu oluşturur. Beyincik de, aynı şekilde, beyindeki tasarımın büyük çapta tekrarlanmıyor oluşunun bir başka örneğini temsil eder. Genomda tasarımla ilgili görece daha az bilgi vardır, çünkü beyinciğin yapısı milyarlarca kez tekrar eden nöronlar şeklidir. Neokortekste olduğu gibi, beyinciğin yapısı boyunca da bir bütünlük vardır.[9]

Kaslarımızı kontrol etme işlevinin çoğu neokorteks tarafından devralınmıştır; neokorteks burada da algılama ve kavrama için kullanılan şekil tanıma algoritmalarının aynısını kullanır. Hareket durumu için neokorteksin işlevine daha uygun bir şekilde şekil tamamlama demek daha uygun düşer. Neokorteks beyincikteki bellekten hassas hareket dizilerini kaydetmek için faydalanır; örneğin, imzanız ve müzik ya da dans gibi sanatsal dışavurumlardaki belirli hareketler. Çocuklar el yazısını öğrenirken beyinciğin rolünü araştıran bir çalışma, beyincikteki purkinje hücrelerinin gerçekten hareket dizilerini örneklediğini hatta her bir hücrenin belirli bir örneğe hassas hâle geldiğini ortaya çıkarıyor.[10] Birçok hareketimiz artık neokorteks tarafından kontrol edildiği için birçok insan için beyinciklerinde ciddi bir hasar olsa bile görece az olan görünür engellerle yaşayabilirler fakat hareketleri daha kaba bir hâle gelebilir.

Neokorteks aynı zamanda beyinciğe uğrayarak beyinciğin gerçek zamanlı temel fonksiyonlarını hesaplama kabiliyetini, henüz yapmadığımız (belki de asla yapmayacağımız) fakat yapmayı düşündüğümüz hareketlerin sonuçlarını tahmin etmek için kullanabilir. Bunun yanı sıra başkalarının hareketlerini ya da olası hareketlerini tahmin etmek için de kullanabilir. Bu, beyinde doğuştan var olan doğrusal tahmin unsurlarının bir diğer örneğidir.

Beyincik, yukarıda bahsettiğim hem yukarıdan aşağı (biyokimyasal modellere bağlı olarak) hem de aşağıdan yukarı (tekrar eden her birimin beyincikte nasıl çalıştığını gösteren matematiksel modelleri temel alarak) simülasyonlarda, temel işlevleri kullanarak duyusal işaretlere dinamik bir şekilde cevap verme yeteneğine bağlı olarak simüle edilirken önemli bir gelişme elde edildi.[11]

ZEVK VE KORKU

> Korku batıl inançların ana kaynağıdır ve zalimliğin de ana kaynaklarından biridir. Korkuyu fethetmek aklın başlangıcıdır.
>
> – BERTRAND RUSSELL

> Korkuyu hissedin ama yine de korkun.
>
> – SUSAN JEFFERS

Eğer neokorteks problem çözmede iyiyse, çözmeye çalıştığımız ana sorun nedir? Evrimin her zaman çözmeye çalıştığı sorun türlerin varlığını sürdürme mücadelesiydi. Bu bireyin varlığını sürdürmesi anlamına geliyor ve her birimiz kendi neokorteksimizi kullanarak sayısız şekilde bu anlamı yorumluyoruz. Hayatta kalmak için hayvanlar bir sonraki yemeklerini kazanmalı, aynı zamanda bir başkasının yemeği olmayı önlemelidirler. Ayrıca üremeleri de gerekir. En eski beyinler bu temel ihtiyaçları tamamlamayı ödüllendiren zevk ve korku sistemleriyle birlikte bunu kolaylaştıracak davranışlar da evrimleştirdi. Çevre ve rekabet edilen türler kademeli olarak değiştikçe biyolojik evrim buna karşılık gelen değişimler yaptı. Hiyerarşik düşünmenin gelmesiyle kritik dürtülerin tatmini daha kompleks hâle geldi, zira artık bu tatmin fikirler içinde fikirlerin muazzam karmaşasına tabiydi. Neokorteks tarafından hatırı sayılır bir düzenlemeye maruz kalsa da eski beyin hâlâ faal ve bizleri hâlâ zevk ve korkuyla motive ediyor.

Zevkle ilişkilenmiş bölgelerden biri beynin ödül merkezidir. 1950'lerde yapılan meşhur deneylerde direkt olarak bu küçük bölgeyi stimüle edebilen sıçanlar (yerleştirilmiş elektrotları aktive eden bir kolu iterek) herhangi başka bir şey yapmayıp, kolu itmeyi tercih etti; seks yapmak ya da yemek yemek dahil. Sonuçta kendilerini ölecek kadar yordular ve aç bıraktılar.[12] İnsanlarda, zevkle ilgili başka bölgeler de vardır; örneğin, ventral pallidum ve tabii ki neokorteksin kendisi.

Zevk ayrıca dopamin ve serotonin gibi kimyasallar tarafından da ayarlanır. Bu sistemleri detaylı bir şekilde incelemek bu kitabın kapsamının dışın-

dadır fakat bu mekanizmaları memeli öncesi kuzenlerimizden miras aldığımızı bilmemiz önemli. Zevkin ve korkunun kölesi değil de sahibi olmamızı sağlamak neokorteksin görevidir. Sık sık bağımlılık oluşturan davranışlara maruz kalma noktasında neokorteks her zaman başarılı bir girişim gösteremeyebilir. Özellikle dopamin zevk deneyimine yol açan bir nörotransmiterdir. Herhangi iyi bir şey başımıza geldiğinde; lotoyu kazanmak, çalışma arkadaşlarımızın onayını kazanmak, sevdiğimiz birinin bize sarılması ya da yaptığımız şakaya bir arkadaşın gülmesi kadar hafif başarılar bile dopamin salgısına sebep olur. Bazen bizler de beynin ödül merkezini fazla stimüle ederek ölen sıçanlar gibi zevk patlamalarını yaşamak için kısa yollar kullanırız, ki bu her zaman doğru bir karar değildir.

Örneğin kumar dopamin salgılamamıza sebep olabilir, en azından kazandığınızda, ancak bu kumarın doğasında olan tahmin edilemezliğe bağlı bir dopamin salgısıdır. Kumar bir süre dopamin salgısı amacıyla işleyebilir fakat ihtimallerin kasıtlı olarak size karşı olması (ki böyle olmasaydı kumarhane bir iş modeli olmazdı) düzenli bir strateji olarak iflasa götüren bir hâle bürünebilir. Benzer tehlikeler herhangi bir bağımlılık yaratıcı davranış için geçerlidir. Dopamin reseptörünün D2 geninde oluşan belirli bir genetik mutasyon bağımlılık yapıcı madde ve davranışların ilk deneyimlerden daha çok zevk alınmasına sebep olur, fakat bilindiği gibi (her zaman önemsenmese de) bu maddelerin yarattığı keyif daha sonraki kullanımlarda kademeli olarak azalır. Bir başka genetik mutasyon da günlük başarılar sonrasında normal dopamin seviyelerinin salgılanmamasına sebep olur, bu durum ayrıca bağımlılık yaratan etkinlikler sayesinde pekiştirilmiş erken deneyimler aramaya yol açabilir. Bağımlılığa karşı böyle genetik eğilimleri olan popülasyonun küçük bir kısmı ciddi boyutlarda sosyal ve medikal sorunlar yaratabilir. Ağır bir şekilde bağımlılık yaratan davranışları önleyebilen insanlar bile dopamin salgısının yarattığı ödüllendirmeyi, buna sebep olan davranışların sonuçları ile birlikte dengelemek için mücadele eder.

Serotonin ruh hâlini düzenleme konusunda büyük rol oynayan bir nörotransmiterdir. Daha yüksek seviyelerde iyi hissetme ve memnuniyet duygularıyla ilişkilidir. Serotoninin başka fonksiyonları da vardır; sinaptik gücü, iştahı, uykuyu, cinsel arzuyu ve sindirimi düzenler. Antidepresan ilaçları, örneğin seçici serotonin geri alımını engelleyen ilaçlar (ki bu ilaçlar reseptörler için hâlihazırda bulunan serotonin seviyelerini artırır) etki alanı geniş sonuçlar yaratır, ve bunların hepsi arzu edilen şeyler değildir (örneğin, libidoyu baskılamak). Şekillerin tanınmasının ve akson aktivasyonlarının bir kerede yalnızca

belli sayıda neokortikal devreyi etkilediği neokorteksteki eylemlerin aksine, bu maddeler beynin hatta bütün sinir sisteminin büyük bölümlerini etkiler.

İnsan beyninin iki lobunda da amigdala bulunur, amigdala birçok küçük dilimi içeren badem şekilli bir bölgedir. Amigdala ayrıca eski beynin bir parçasıdır ve birkaç duygusal tepki türünün işlenmesinde görev alır, ki bu tepkilerden en göze çarpanı korkudur. Memeli öncesi hayvanlarda, belirli önceden programlanmış, direkt olarak tehlikeyi temsil eden uyarıcılar amigdalaya ilerler, bu da daha sonra 'savaş ya da kaç' mekanizmasını tetikler. İnsanlarda amigdala, şu an, tehlike algısının neokorteks tarafından iletilmesine dayanır. Örneğin yöneticiniz tarafından yapılan olumsuz bir yorum, işinizi kaybetme korkusu yaratarak böylesine bir tepkiyi tetikleyebilir (ya da tetiklemez, eğer güvendiğiniz bir B planı varsa). Amigdala ileride tehlike olduğuna karar verirse, eski bir olay dizisi meydana gelir. Amigdala, hipofiz bezine AKTH (adrenokortikotropik hormon) adı verilen hormonu salgılaması için sinyal gönderir. Daha sonra bu durum, adrenal bezlerden stres hormonu olan kortizolü tetikler, ki bu da kaslarınıza ve sinir sisteminize sağlanmak üzere daha çok enerjiye yol açar. Adrenal bezler de adrenalin ve noradrenalin üretir, bu hormonlar sindirim, bağışıklık ve üreme sistemlerini baskılar (bu süreçlerin acil bir durumda yüksek öneme sahip olmadıklarını düşünür). Kan basıncı, kan şekeri, kolesterol ve fibrinojen (kanın pıhtılaşmasını hızlandırır) seviyeleri yükselir. Kalp hızı ve solunum hızlanır. Hatta göz bebekleri büyür ve bu şekilde düşmanınızı ve kaçış rotasını daha iyi bir görsel keskinlikle görürsünüz. Tüm bunlar bir avcının aniden yolunuzu kesmesi gibi gerçek tehlike anlarında oldukça faydalıdır. Bugünün dünyasında savaş ya da kaç mekanizmasının kronik aktivasyonunun yüksek tansiyon, yüksek kolesterol seviyesi ve başka sağlık sorunlarına yol açtığı iyi bilinmektedir.

Küresel nörotransmiter seviyeleri sistemi; örneğin serotonin, ve hormon seviyeleri; örneğin dopamin dallı budaklıdır ve bu kitabın geri kalanını bu konuyla harcayabiliriz (birçok kitabın yaptığı gibi) fakat bu sistemdeki bilginin bant genişliğinin (bilgi işlem sıklığı) neokorteksin bant genişliğiyle kıyaslandığında çok düşük olduğunu belirtmekte fayda var. Buraya dahil olan kısıtlı sayıda madde vardır ve bu kimyasalların seviyeleri, neokorteksle kıyaslandığında, yavaşça değişmeye eğilimlidir ve bu seviyeler beynin tamamında görece evrenseldir, zira neokorteks hızlıca değişebilen trilyonlarca bağlantıdan oluşur.

Duygusal deneyimlerimizin hem yeni hem de eski beyinde meydana geldiğini söylemek adil olur. Düşünme yeni beyinde (neokortekste) gerçekle-

şir fakat his her ikisinde de olur. Dolayısıyla insan davranışının herhangi bir şeye öykünmesi her ikisini de modellemelidir. Bununla birlikte eğer peşinde olduğumuz şey yalnızca bilişsel zekâ ise neokorteks yeterli olur. Eski beyni, biyolojik olmayan neokorteksin daha direkt olan motivasyonuyla, onun için belirlediğimiz görevleri başarması amacıyla, değiştirebiliriz. Örneğin, Watson vak'asında amaç basit bir şekilde belirtilmişti: *Jeopardy!* sorularına doğru cevaplar bul (her ne kadar bu cevaplar *Jeopardy!* bahislerini anlayan bir programla ayarlanmış olsa da). Yeni Watson sisteminin Nuance ve IBM tarafından medikal bilgi için ortaklaşa geliştirilmiş olması durumunda amaç insan hastalıklarını tedavi etmeye yardımcı olacaktı. Gelecekteki sistemler gerçekten bir hastalığı tedavi etmek ve fakirliği dindirmek gibi amaçlara sahip olabilir. Birçok zevk-korku mücadelesi şimdiden insanlar için kullanılmaz hâle geldi çünkü eski beyin ilkel insan toplumundan çok önce evrimleşti; aslında bu mücadelenin çoğu sürüngenlere özgüdür.

İnsan beyninde sürekli bir mücadele vardır: eski beyin mi yoksa yeni beyin mi sorumlu? Eski beyin zevk ve korku deneyimlerini kontrol etmesiyle gündemi belirlemeye çalışır, bunun yanında yeni beyin devamlı eski beynin görece ilkel algoritmasını anlamaya çalışır ve onu kendi gündemine göre manipüle etmeyi amaçlar. Amigdalanın kendi başına tehlikeyi değerlendiremediğini unutmayalım; insan beyninde bu tür kararları neokorteks verir. Şu kişi bir arkadaş mı yoksa rakip mi, sevgili mi yoksa bir tehdit mi? Yalnızca neokorteks karar verebilir.

Direkt olarak ölümüne kavgaya ve yiyecek avcılığına girişmediğimiz noktada kısmen de olsa eski dürtülerimizden daha yaratıcı çabalar uğruna vazgeçmeyi başardık. Bu bağlamda, gelecek bölümde yaratıcılık ve sevgiyi inceleyeceğiz.

ALTINCI BÖLÜM

Üstün Yetenekler

Basitçe, bu benim dinim. Tapınaklara gerek yok; karmaşık bir felsefeye gerek yok. Kendi beynimiz, kendi kalbimiz bizim tapınağımızdır; ve dinin felsefesi de iyiliktir.

– DALAI LAMA

Elim hareket ediyor çünkü belirli kuvvetler var –elektrik, manyetik ya da sinir kuvveti, ne şekilde tanımlanıyorsa– ve bu kuvvetler beynim sayesinde elimden etkilenir. Bu beyinde saklanan sinir kuvveti, muhtemelen izi sürülebilir bir kuvvet ve eğer bilim tamamlanmış olsaydı bu sinir kuvvetinin kan tarafından beyne sağlanan kimyasal kuvvetler olduğu ve en nihayetinde yediğim yemekten ve nefes aldığım havadan elde edildiği ortaya çıkacaktı.

– LEWIS CARROLL

Duygusal düşüncelerimiz de neokortekstte gerçekleşir fakat eski beyin bölgelerinden örneğin amigdaladan bazı evrimsel olarak yeni olan beyin yapılarına, örneğin iğsi sinirlere kadar –ki bu sinirler yüksek basamaklardaki duygular için önemli bir rol oynuyor gibi görünüyor– beynin farklı bölgelerinden etkilenebilir. Serebral kortekstte bulunan düzenli ve mantıklı olup tekrarlı yapılardan farklı olarak iğsi nöronlar oldukça düzensiz şekillere ve bağlantılara sahip. Bu nöronlar insan beynindeki en büyük nöronlardır ve beynin tamamını tararlar. Bu nöronlar yoğun bir şekilde birbirleriyle bağlantılılar, yüzbinlerce bağlantı kurup neokorteksin geniş kısımlarını birbirine bağlıyorlar.

Daha önce bahsedildiği gibi, insula duyusal sinyalleri işlemeye yardım eder fakat yüksek seviye duygular için de önemli bir rol oynar. İğsi hücrelerin yaratıldığı bölge bu bölgedir. Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (emar) taramaları bu hücrelerin insanlar sevgi, kızgınlık, üzgünlük ve cinsel ar-

zu gibi duygularla baş ederken özellikle bu hücrelerin aktif olduğunu açığa çıkardı. Bu hücreleri güçlü bir şekilde aktifleştiren durumlar içerisinde bir kişinin partnerine bakması ya da çocuğunun ağlamasını duyması gibi durumlar da var.

İğsi sinir hücreleri apikal dendrit denilen uzun sinirsel ipliklere sahip ve bu iplikler uzak neokortikal bölgelerle bağlantı kurabiliyor. Böylesine yoğun bir şekilde bağlantı kurma özelliği, ki bu sayede bazı nöronlar birçok bölgeye ulaşır, evrimsel merdivende basamak çıktıkça artar. İğsi hücreler duygu ve ahlâki yargıyla uğraşmaya dahil oldukları için bu şekilde birbirleriyle bağlantı kurmaları şaşırtıcı değil, zira yüksek seviye duygusal reaksiyonlar çok çeşitli konulara ve düşüncelere dokunuyor. Beynin diğer bölgelerine yaptıkları bağlantılar sebebiyle iğsi hücrelerin işlediği yüksek seviye duygular tüm algısal ve kavramsal bölgelerimizden etkileniyor. Bu hücrelerin rasyonel problem çözme gibi görevleri olmadığını belirtmek önemli, zaten bu sebeple müziğe ya da âşık olmaya ilişkin tepkilerimizde rasyonel kontrolümüz yok. Bununla birlikte, beynin geri kalanı, ağır bir şekilde, gizemli yüksek seviye duygularımızı anlamlı hâle getirmeye adanmış.

Beyinde görece az iğsi hücre var, yaklaşık 45.000'i sağ, ve 35.000'i sol hemisferde olmak üzere yalnızca 80.000 hücre. Bu farklılık en azından duygusal zekânın sağ beyinde var olduğunu kavramak için, orantısızlık az bir oranda olmasına rağmen, bir sebep oluşturuyor. Goriller bu hücrelerden 16.000 tanesine sahip, cüce şempanzeler 2.100 kadarına ve şempanzeler de 1.800 kadarına sahip. Diğer memelilerde hiç iğsi sinir hücresi yok.

Antropologlar iğsi hücrelerin ilk olarak 10-15 milyon yıl önce maymungiller ve hominidlerin (insanların öncüsü) henüz keşfedilmemiş olan ortak atasında ortaya çıktığını ve 100.000 yıl kadar önce bu hücrelerin sayısını ani bir şekilde artırdığını düşünüyor. İlginç bir şekilde iğsi hücreler yenidoğan insanlarda bulunmuyor fakat dört aylıkken görülmeye başlıyor ve bir ve üç yaşları arasında sayıları ciddi şekilde artıyor. Çocukların ahlâki konularla başa çıkabilmesi ve sevgi gibi yüksek seviyeli duyguları algılaması da aynı döneme denk geliyor.

YETENEK

Wolfgang Amadeus Mozart (1756-1791) beş yaşındayken bir menuet yazdı. Altı yaşında iken Viyana imparatorluk sarayında imparatoriçe Maria Theresa performans sergiledi. Otuz beş yaşında gerçekleşen ölümünden önce, kırk bir senfoni içeren altı yüz parça besteledi ve Avrupa'nın klasik geleneğindeki en iyi besteci olarak görüldü. Mozart'ın müziğe yeteneği olduğu söylenebilir.

Pekâlâ bu durum zihnin şekil tanıma teorisi kapsamında ne anlama geliyor? Açıkça, yetenek olarak gördüğümüz şeyin bir kısmı yetiştirmenin bir ürünü, yani, çevrenin ve diğer insanların etkisi. Mozart müzikle ilgilenen bir aileye doğmuştu. Babası, Leopold, bir besteci ve Salzburg başpiskoposluğunun saray orkestrasında orkestra şefiydi. Genç Mozart müziğe dalmış ve babası ona üç yaşında keman ve klavye öğretmeye başlamıştı.

Buna rağmen, çevresel etkiler tek başına Mozart'ın zekâsını tamamen açıklamıyor. Burada açık bir şekilde doğuştan gelen bir bileşen de var. Pekâlâ bu nasıl bir şekle sahip? Dördüncü Bölüm'de yazdığım gibi neokorteksin farklı bölgeleri belirli şekil türleri için optimize hâle gelir (biyolojik evrim sayesinde). Modüllerin temel şekil tanıma algoritması neokorteks boyunca bir örnek olsa da belirli şekil türleri belirli bölgelere akmaya eğilimli olduğu için (örneğin, yüzler fusiform girusa) bu bölgeler ilişkili şekilleri işlemede daha iyi hâle gelir. Bununla birlikte, algoritmanın aslında her modülde nasıl uygulandığına hükmeden birkaç parametre vardır. Örneğin, bir şeklin tanınması için ne kadar yakın bir eşleme gereklidir? Bu eşik, eğer yüksek basamaklardan bir modül bu şeklin "beklendiğini" sinyallerse nasıl ayarlanabilir? Büyüklük parametreleri nasıl düşünülür? Bunlar ve diğer faktörler, farklı bölgelerde farklı şekilde ayarlanır ki belirli şekil türleri için belirli bölgeler avantajlı hâle gelsin. Yapay zekâ alanında benzer yöntemlerle yaptığımız çalışmada aynı konuyu fark ettik ve bu parametreleri optimize etmek için evrim simülasyonları kullandık.

Eğer belirli bölgeler farklı şekil türleri için optimize edilebiliyorsa, bireysel beyinler de ayrıca öğrenme, tanıma ve belirli şekil türleri yaratma becerilerini çeşitlendirebilir. Örneğin, bir beyin ritmik örnekleri daha iyi tanıyarak ya da uyumun geometrik aranjmanlarını daha iyi anlayarak doğuştan müzik yeteneğine sahip olabilir. Mükemmel ses perdesi konusu (bir sesi dışarıdan bir ses referansı almadan tanıma ya da çıkarma becerisi) müziksel yetenekle ilişkilendirilir ve genetik bir temele sahip gibi görünüyor. Ancak yeteneğin geliştirilmesi gerekiyor, dolayısıyla bu yetiştirme ile doğanın bir kombinasyonu olabilir. Mükemmel ses perdesinin genetik temeli büyük ihtimalle neokorteksin dışında, işitsel bilginin ön işlemesi bölümünde yer alıyor bunun yanı sıra öğrenilen tarafı da neokorteksin içinde yer alıyor.

Yeterlik derecesine katkıda bulunan başka beceriler de var, bunlar ya rutin çeşitliliğe ya da destansı dehaya katkıda bulunuyor. Neokortikal beceriler örneğin neokorteksin amigdalanın ürettiği korku sinyallerinde, (kınama ile sunulduğunda) uzmanlaşabilmesi; kendine güven, örgütsel beceri ve başkalarını etkileme davranışları kadar önemli bir rol oynar. Daha önce not ettiğim

oldukça önemli bir beceri tutuculuğa karşı gelen fikirlerin cesurca peşinden gitmektir. Aynı şekilde, büyük deha olarak gördüğümüz insanlar başlangıçta akranları tarafından anlaşılmamış ya da takdir edilmemiş olsa da kendi zihinsel deneylerinin peşinden gittiler. Mozart yaşamı boyunca ün kazanmış olmasa da sonradan insanlarda büyük hayranlık uyandırdı. Yoksul biri olarak normal bir mezara gömüldü ve cenazesinde sadece iki müzisyen bulundu.

YARATICILIK

Yaratıcılık o olmadan yaşayamayacağım bir ilaçtır.

– CECIL B. DEMILLE

Sorun zihninizde yeni, yenilikçi fikirler oluşması değil, eski fikirlerin zihninizden çıkmasıdır. Her zihin geçmişe ait mobilyalarla doldurulmuş bir bina gibidir. Zihninizde bir köşeyi temizleyin, yaratıcılık o köşeyi anında dolduracaktır.

– DEE HOCK

İnsanlık, dünyayı farklı gözlerle görenler için biraz soğuk olabilir.

– ERIC A. BURNS

Yaratıcılık neredeyse her sorunu çözebilir. Yaratıcı hareket, özgünlük sayesinde alışkanlığın mağlup edilmesi, her şeyin üstesinden gelir.

– GEORGE LOIS

Yaratıcılığın kilit yönü mükemmel metaforlar (başka bir şeyi sembolize eden şeyler) bulma sürecidir. Neokorteks mükemmel bir metafor makinesidir ve bu hâli de bizim neden eşi benzeri olmayan yaratıcı türler olduğumuzu açıklar. Neokorteksimizdeki yaklaşık 300 milyon şekil tanıyıcının her biri bir şekli tanır ve tanımlar ve ona bir isim verir ki neokortikal şekil tanıma modüllerinde bu basit bir şekilde şekil tanıyıcıdan çıkan aksonun şekil görüldüğünde ateşleyecek olmasıdır. Bu sembol daha sonra başka bir şeklin bir parçası olur. Bu şekillerin her biri aslında bir metafordur. Tanıyıcılar saniyede 100 kez ateşleme yapabilir, dolayısıyla elimizde bir saniyede 30 milyar şekil tanıma potansiyeli vardır. Tabii ki her modül her devirde ateşleme yapmak zorunda değildir fakat gerçekten bir saniyede milyonlarca şekil tanıdığımızı söylemek adil olur.

Elbette bazı metaforlar diğerlerinden daha belirgindir. Darwin Charles Lyell'ın oldukça kademeli değişiklikler olan bir su damlasıyla büyük kanyon-

lar oluşturulması içgörüsü bir damla evrimsel değişimin binlerce jenerasyon boyunca nasıl mükemmel değişikliklere yol açarak türlerin farklılığına sebep olması oldukça güçlü bir metafordu. Düşünme deneyleri, örneğin Einstein'ın Michelson-Morley deneyinin gerçek anlamını aydınlatmak için kullandığı düşünme deneyi, tamamen metafordur; burada sözlük anlamını aktarırsak metafor "herhangi bir şeyin temsili ya da sembolik hâlidir."

Shakespeare'in 73. sonesinde herhangi bir metafor görüyor musunuz?

İşte o mevsimi görebilirsin bende de şimdi:
Tek tük birkaç sarı yaprak ya kalır ya kalmaz,
Soğuktan titreşen o çıplak dallarda hani,
Yuvaları yıkılmış canım kuşların sesi duyulmaz.
İşte alacakaranlık çöküyor benim de üstüme:
Hani ufuklar usul usul solar ya batan günle,
Ve hazırdır artık kapkara örtüsünü germeye,
Her şeyi sarıp mühürleyen, ölümün eşi gece.
İşte gençliğinin külleri üstünde yatan ateşten
Kalma parıltılar yalnız, şu anda bende gördüğün;
O küller ki, bir zamanlar beslediğini şimdi tüketen,
Ağır ağır yok eden ölüm döşeği artık bugün.
İyi bak ve anla bunu, ki sevgin güç kazansın,
Şimdi bil değerimi; yakında beni bulamayacaksın. *

Bu sonede şair, kapsamlı metaforlar kullanarak ilerleyen yaşını anlatıyor. Yaşı sonbaharın sonu gibi, "tek tük birkaç sarı yaprak ya kalır, ya kalmaz." Hava soğuktur ve kuşlar artık dallara tutunamaz, ki bunu da "kuşların sesi duyulmaz" diyerek belirtiyor. Şairin yaşı alacakaranlık gibidir, "ufuklar solar batan günle, hazırdır gece kapkara örtüsünü germeye." Şair artık bir ateşten geriye kalanlardır "işte gençliğin külleri yanan ateşten." Aslında bütün dil, eninde sonunda metaforlardan oluşuyor fakat bazı açıklamalar diğerlerine göre daha iyi hatırlanmaya layıktır.

Metafor bulma, bir şekli ayrıntıdaki ve içerikteki farklılıklara rağmen tanıyabilme sürecidir, bu etkinliği hayatımızın her dakikasında gerçekleştiririz. Daha dikkate değer gördüğümüz metaforik sıçramalar farklı disiplinlerin çatallandığı yerde oluşmaya meyillidir. Bu asıl yaratıcılık gücüne karşı çalışmak ise bilimde (ya da diğer alanlarda da) daha büyük bir uzmanlığa nüfuz eden bir akımdır. Amerikalı matematikçi Norbert Wiener (1894-1964) doğduğum yıl olan 1948'de basılmış, ufuk açıcı kitabı *Cybernetics*'te şöyle yazıyor:

(*) Çev. Bülent-Saadet Bozkurt – ç.n.

> Bu kitapta da göreceğimiz gibi bilimsel çalışmanın bazı alanları vardır, bu alanlar saf matematik, istatistik, elektrik mühendisliği ve nörofizyolojinin farklı taraflarından keşfedilir. Bu alanlardaki her bir kavram her gruptan farklı bir isim alır ve önemli bir iş üç kat ya da dört kat gelişme gösterdiğinde bir diğer alandaki önemli iş bazı şeylerin bulunamamasından ötürü gelişmekte gecikir ki bu esnada diğer alandaki iş artık klasikler arasında yerini almıştır.
>
> İşte bu sınır bölgeler kaliteli bir araştırmacıya çok zengin fırsatlar sunar. Bu bölgeler aynı zamanda toplu saldırı ve iş bölümü gibi kabul edilmiş tekniklere en dayanıklı bölgelerdir.

Kendi çalışmamda artan uzmanlaşmayla mücadele etmek amacıyla bir proje için toplanan uzmanları birleştirerek, onların birlikte çalışmasını sağladım (örneğin konuşma tanıma çalışmasında konuşma bilimcileri, dilbilimciler, psikoakustikçiler ve şekil tanıma uzmanları bulunuyordu ki bilgisayar bilimcilerinden bahsetmiyorum bile) ve bu uzmanları gruba kendi tekniklerini ve terminolojilerini öğretmek konusunda teşvik ettim. Daha sonra bütün terminolojiyi bir kenara atıp kendi terminolojimizi oluşturduk. Aynı şekilde, bir alandaki metaforu kullanarak bir başka alandaki sorunu çözdük.

Evcil bir kediyle karşılaştığında kendine bir kaçış rotası çizen fare (karşılaştığı durum daha önce karşılaştıklarından biraz farklı da olsa bu rotayı çizebilir) bunu yaratıcılığıyla başarır. Kendi yaratıcılığımız bu fareninkinden kat kat üstündür –ve çok daha fazla soyutlama seviyesi içerir– çünkü bizler daha çok hiyerarşi basamağıyla baş edebilen daha geniş bir neokortekse sahibiz. Dolayısıyla daha çok yaratıcılığa sahip olmanın bir yolu etkili bir şekilde daha çok neokorteksi birleştirebilmektir.

Ulaşılabilir neokorteksi genişletmenin bir yolu, birkaç insanın birlikte çalışmasıdır. Bu, rutin bir şekilde, problem çözme topluluklarında toplanan insanların arasındaki iletişim sayesinde başarılır. Son dönemde gerçek zamanlı işbirliğinin gücünü kontrol etmek amacıyla çevrimiçi işbirliği araçlarını kullanma çabası yaygınlaştı ve bu çaba matematikte ve diğer alanlarda başarı gösterdi.[1]

Gelecek adım, tabii ki, neokorteksin kendisini biyolojik olmayan eşleniğiyle genişletmek olacak. Bu bizim nihai yaratıcılık eylemimiz olacak: yaratıcı olabilmeyi yaratmak. Sonuçta biyolojik olmayan bir neokorteks daha hızlı olacak ve Darwin ve Einstein'a ilham veren metafor türlerini hızlı bir şekilde arayabilecektir. Sistematik bir şekilde, katlanarak genişleyen bilgi birikimimizin sınırları içinde birbiriyle kesişen sınırları keşfedebilecektir.

Bazı insanlar böylesine bir zihin genişlemesinden vazgeçmek isteyenlere ne olacağı konusunda endişelerini dile getiriyorlar. Şunu belirtmek isterim ki bu eklenebilir zekâ temel olarak bir bulutun içinde yer alacak (çevrimiçi iletişim sayesinde bağlantı kurduğumuz katlanarak genişleyen bilgisayar ağları) ki zaten bu bulut şu anda makinesel zekânın çoğunun saklandığı yer. Bir arama motoru kullandığınızda, telefonunuz sayesinde konuşma tanıdığınızda, Siri gibi bir sanal asistana danıştığınızda zekâ cihazınızın içinde değil, bulutun içinde bulunuyor. Bizim genişletilmiş neokorteksimiz de orada bulunacak. Bu genişlemiş zekâya direkt sinirsel bağlantılarla mı yoksa şimdi ulaştığımız gibi mi –cihazlarımız üzerinden etkileşime girmek–bağlanacağımız seçime bağlı bir farklılık. Fikrimce, hepimiz bu dünyaya nüfuz eden geliştirme sayesinde daha yaratıcı hâle geleceğiz, ister insanlığın genişlemiş zekâsıyla direkt bağlantı kurmayı tercih edelim ister bundan vazgeçelim. Şimdiden kişisel, sosyal, tarihsel ve kültürel belleğimizi buluta yükledik bile ve sonuçta aynı şeyi hiyerarşik düşünmemize de yapacağız.

Einstein'ın çığır açan buluşu yalnızca zihin deneyleri üzerinden metaforları uygulamakla ortaya çıkmadı. Ayrıca bu metaforların gücüne inanmaya cesareti vardı. Deneylerini tatmin etmeyen geleneksel açıklamalardan feragat etmeye istekliydi ve yarattığı metaforların ima ettiği acayip açıklamalarla çağdaşlarının alay etmesine karşı direnmeye de istekliydi. Bu özellikler –metafora inanmak ve ikna etme cesareti– biyolojik olmayan neokorteksimize programlamamız gereken özelliklerdir.

SEVGİ

> Zihnin açıklığı tutkunun açıklığı anlamına da gelir; bu yüzden yüce ve açık bir zihin hevesle sever ve sevdiği şeyi özgün bir şekilde görür.
>
> – Blaise Pascal

> Aşkın içinde her zaman biraz çılgınlık vardır. Ancak çılgınlığın içinde de her zaman biraz sebep vardır.
>
> – Friedrich Nietzsche

> Benim sahip olduğum kadar bir yaşam gördüğünde tutkulu aşkın gücünü küçümsemeyeceksin.
>
> – Albus Dumbledore, J. K. Rowling, *Harry Potter ve Melez Prens* kitabından

> Güzel bir matematik çözümünü herhangi bir aşk sorunundan her zaman daha çok severim.
>
> – Michael Patrick King, *Sex and the City* dizisinin 'Take me out to the Ballgame' bölümünden

Kişisel olarak kendinden geçiren bir aşk yaşamadıysanız bile elbette hakkında çok şey duymuşsunuzdur. Dünyadaki sanatın çoğu olmasa bile önemli bir bölümü –hikâyeler, romanlar, müzik, dans, resim, televizyon programları ve filmler– ilk aşamalarında aşk hikâyelerinden ilham alır.

Bilim son zamanlarda eylemin de içine girdi ve artık âşık olan bir insanda olan biyokimyasal değişiklikleri tanımlayabiliyoruz. Dopamin salgılanıyor, mutluluk ve memnuniyet hissi yaratıyor. Norepinefrin seviyeleri fırlıyor bu da kalbi hızlandırarak canlılık hissine neden oluyor. Bu kimyasallar feniletilamin ile birlikte sevinç, yüksek enerji seviyeleri, odaklanmış dikkat, iştah kesilmesi ve arzu edilen objeye karşı genel şiddetli bir arzu üretiyor. İlginç bir şekilde, University College London'da yakın zamanda yapılan bir araştırma ayrıca serotonin seviyelerinin obsesif kompulsif bozukluğa benzer şekilde düştüğünü ve erken aşkın takıntılı doğasıyla tutarlı olduğunu gösterdi.[2] Yüksek dopamin ve norepinefrin seviyeleri yükselen kısa dönem dikkat, mutluluktan uçma ve aşka dair şiddetli bir arzu duymaya neden olur.

Eğer bu biyokimyasal olgular savaş ya da kaç sendromuna benzer geliyorsa haklısınız, gerçekten de benziyor fakat burada bir şeye ya da birine doğru koşuyoruz; aslında kötümser biri burada tehlikeden uzağa değil tehlikeye doğru koşuyoruz diyebilirdi. Değişiklikler de bağımlılıkta var olan davranışların ilk safhalarıyla tamamen uyuşuyor. Roxy Music grubunun "Love is the Drug" (aşk uyuşturucudur) adlı parçası bu safhayı tanımlarken oldukça doğru (her ne kadar bu şarkının konusu bir sonraki aşkıyla kendini düzeltmek istemesi olsa da). Kendinden geçiren dini deneyimler üzerinde yapılan çalışmalar da aynı fiziksel olguyu gösteriyor; böyle bir deneyim yaşayan bir insanın tanrıya ya da odaklandığı şeye aşk duyup ruhani bir şekilde bağlanmasıdır denebilir.

Erken romantik aşk durumunda östrojen ve testosteron kesinlikle seks dürtüsüne sebep olur fakat eğer üreme aşkın evrimsel olarak tek amacı olsaydı bu sürecin romantik yönü oldukça gereksiz olurdu. Psikolog John William Money'nin (1921-2006) de dediği gibi "Şehvet müstehcen, aşk şiirseldir."

Aşkın kendinden geçiren evresi bağlanma evresine sürükler ve en sonunda uzun süreli bir bağlanma gerçekleşir. Bu süreci teşvik eden kimyasal-

lar da vardır; örneğin oksitosin ve vazopresin. Örneğin iki yakın tarla faresi türünü düşünün; çayır faresi ve montan faresi (Amerika ve Kanada'da yaygın olan bir tür). Bu iki tür neredeyse birbiriyle aynı fakat çayır faresi oksitosin ve vazopresin için reseptörlere sahipken montan faresi bu reseptörlerden yoksun. Çayır faresi yaşam boyu tek eşli ilişkisiyle göze çarpıyor fakat montan faresi tam anlamıyla tek gecelik ilişkiler yaşıyor. Fareler için oksitosin ve vazopresin reseptörlerinin aşk hayatlarının doğasını belirleyici konumda oldukları söylenebilir.

Bu kimyasallar aynı şekilde insanlarda da etkilidir, yaptığımız diğer her şeyde olduğu gibi neokorteksimiz hükmeden rolünü üzerine almıştır. Farelerin de neokorteksi var fakat onların neokorteksi bir posta pulu büyüklüğünde ve daha düz bir yapıdır, farelerin yaşamları için bir partner bulmasına (ya da montan faresi için en azından bir gecelik bir eş bulmasına) ve başka basit fare davranışlarını gerçekleştirmesine yetecek büyüklüktedir. Biz insanlar Money'nin bahsettiği gelişen 'şiirsel' açıklamalarda bulunmamızı sağlayan yeterli neokortekse sahibiz.

Evrimsel bir çerçeveden baktığımızda, aşk başlı başına neokorteksin ihtiyaçlarına cevap vermek için vardır. Eğer neokorteksimiz olmasaydı şehvet üremeyi garanti etmeye yeterli olabilirdi. Aşkın baştan çıkaran kışkırtıcı hâli bağlanmaya ve olgun aşka sebep olur ve sonrasında bu uzun süren bir bağa dönüşür. Bu durum istikrarlı bir çevrenin en azından ihtimalini sağlamak için tasarlanmıştır. Bu çevrede çocukların neokorteksi, sorumlu ve becerikli yetişkinlere dönüşmeleri için gereken eleştirisel öğrenme becerisini kazanacaktır. Zengin bir çevrede öğrenme, doğası gereği, neokorteksin yöntemlerinin bir parçasıdır. Aslında aynı oksitosin ve vazopresin hormonları ebeveynle (özellikle anneyle) çocuk arasındaki hassas bağlanmayı sağlamada önemli bir rol oynar.

Aşk hikâyesinin en uç noktasında, sevilen kişi neokorteksimizin büyük bir parçası hâline gelir. Birlikte olduktan on yıllar sonra neokortekste sanal bir diğer kişi var olur ve biz bu kişinin söyleyeceği ve yapacağı şeylerin her adımını sezebiliriz. Neokortikal şekillerimiz bu sevilen kişilerin kim olduğunu yansıtan düşünce ve şekillerle dolar. Bu kişiyi kaybettiğimizde gerçek anlamıyla kendi parçamızı kaybederiz. Bu *yalnızca* bir metafor değil – sevdiğimiz kişiyi yansıtan şekillerle dolmuş olan çok sayıdaki şekil tanıyıcıların tamamı bir anda doğasını değiştirir. Bu durum o kişiyi kendi içimizde canlı tutmak olarak görülse de sevdiğimiz kişiye dair çok sayıdaki neokortikal şekil onun kaybıyla bir anda keyif sinyali yerine yas sinyali verir.

Aşkın ve onun evrelerinin evrimsel temeli bugünün dünyasında hikâyenin tamamı değildir. Hâlihazırda seksi biyolojik fonksiyonundan özgürleştirmeyi büyük ölçüde başardık; yani seks yapmadan bebek sahibi olabilir, bebek sahibi olmadan seks yapabiliriz. Seksin büyük çoğunluğu onun duygusal ve ilişkisel amaçları doğrultusunda gerçekleşir. Ayrıca çocuk büyütme amacı gütmeden rutin bir şekilde âşık olabiliriz.

Benzer bir şekilde, aşkı ve onun çok eski zamanlara dayanan sayısız hâlini öven her tür sanatsal söylemin genişliği kendi içinde bir sondur. İnsan deneyimlerinin sınırlarını aşan bilginin kalıcı formlarını yaratma kabiliyetimiz –aşk ya da başka her şey hakkında olabilir– tam olarak bizim türümüzü eşsiz yapan şeydir.

Neokorteks biyolojinin en mükemmel icadıdır. Dolayısıyla, neokorteksimizin en mükemmel buluşları da aşk hakkındaki bu şiirlerdir – ve diğer tüm yaratılarımızdır.

YEDİNCİ BÖLÜM

Biyolojiden Esinlenen Dijital Neokorteks

Eğer beynini nerede sakladığını göremiyorsan, kendi için düşünebilecek hiçbir şeye asla güvenme.

– ARTHUR WEASLEY, J. K. Rowling'in *Harry Potter ve Azkaban Tutsağı* kitabından

Hayır, güçlü bir beyin geliştirmeye hevesli değilim. Peşinde olduğum tek şey yalnızca ortalama bir beyin, Amerikan Telefon ve Telegraf Şirketi'nin başkanı gibi bir şey.

– ALAN TURING

Bir bilgisayar eğer bir insanı kendinin de insan olduğuna ikna edebilirse zeki olmayı hak edebilir.

– ALAN TURING

İnanıyorum ki bu yüzyılın sonunda sözcüklerin kullanımı ve genel eğitilmiş düşünce o kadar çok değişecek ki bir kişi makinelerden bahsederken düşünerek ve karşı çıkılmayı beklemeden konuşabilecek.

– ALAN TURING

Anne sıçan, hayatı boyunca hiç başka sıçan görmemiş olsa da yavrusu için yuva yapar.[1] Benzer şekilde bir örümcek ağ örecek, tırtıl kendi kozasını yaratacak ve bir kunduz baraj inşa edecektir; bu karmaşık görevleri nasıl başaracaklarını kimse onlara göstermemiş olsa da. Bu durum, bunların öğrenilmiş davranışlar olmadığı anlamına gelmiyor. Bu hayvanlar, bu davranışları tek bir yaşam süresinde değil, binlerce yaşam süresinde öğrendiler. Hayvan davranışının evrimi bir öğrenme süreci kurar fakat bu türler tarafından ger-

çekleştirilen bir öğrenmedir, birey tarafından değil ve bu öğrenme sürecinin meyveleri DNA'da şifrelenir.

Neokorteksin evrimini takdir etmek için binlerce yıl sürebilecek öğrenme sürecini (hiyerarşik bilgi) hızlandırarak nasıl aylara (ya da daha kısa bir süreye) indirdiğini düşünün. Belirli bir memeli türündeki milyonlarca hayvanın bir –hiyerarşik adımlar gerektirecek– sorunu çözme konusunda başarısız olmuş olsa da bu, yanlışlıkla bir çözüm bulmayı gerektirdi. Bu yeni yöntem daha sonra kopyalanıp katlanarak popülasyona yayılabilirdi.

Şimdi, biyolojik zekâdan biyolojik olmayan zekâya taşınarak öğrenme sürecini binlerce ya da milyonlarca kat artırabilecek pozisyondayız. Dijital neokorteks bir beceriyi öğrendiğinde bu bil-yap bilgiyi dakikalar ya da saniyeler içinde aktarır. Birçok örnekten biri, 1973'te kurduğum ilk şirketim Kurzweil Computer Products'ta (şimdiki Nuance Speech Technologies) bir dizi araştırma bilgisayarını taratılmış belgelerdeki basılı harfleri tanımaları için eğitmeye yıllar harcadık, bu omni-font (herhangi bir yazı tipi) optik karakter tanıma (optical character recognition, OCR) adı verilen bir teknolojidir. Bilhassa bu teknoloji, Nuance'tan çıkan OmniPage adlı yeni ürünle birlikte neredeyse kırk yıldır sürerli bir gelişim içinde. Eğer bilgisayarınızın taranmış belgelerdeki basılı harfleri tanımasını istiyorsanız bizim yaptığımız gibi bilgisayarınıza yıllarca bunu öğretmenize gerek yok – basit bir şekilde evrimleşmiş ve araştırma bilgisayarları tarafından yazılım formunda öğrenilmiş şekilleri bilgisayarınıza yükleyebilirsiniz. 1980'lerde konuşma tanıma işlemine başladık, hâlihazırda birkaç on yıldır gelişme hâlinde olan bu teknoloji Siri'nin bir parçasıdır. Yine, araştırma bilgisayarları tarafından yıllar içinde öğrenilmiş evrimleşmiş şekilleri saniyeler içinde bilgisayarınıza indirebilirsiniz.

En nihayetinde insandaki neokorteksin tüm çeşitliliğine ve esnekliğine sahip yapay bir neokorteks yaratacağız. Faydalarını bir düşünün. Elektronik devreler bizim biyolojik devrelerimizden milyonlarca kez daha hızlıdır. İlk başta bu hız artışının tamamını bilgisayarlarımızda paralel işlemlerin görece eksik oluşunun telafisine bağlamamız gerekiyor fakat sonunda, dijital neokorteks biyolojik çeşitlilikten daha hızlı olacak ve sürekli hızlanmaya devam edecek.

Kendi neokorteksimizi sentetik bir sürümle büyüttüğümüzde vücudumuza ve beynimize fiziksel olarak ne kadar ek neokorteksin yerleşeceğiyle ilgili endişelenmemize gerek kalmayacak zira bu ek neokorteksin çoğu bugün kullandığımız programlamaların çoğu gibi bulutta olacak. Daha önce biyolojik neokorteksimizde 300 milyon kadar şekil tanıyıcı olduğu tahmininde bu-

lunmuştum. Bu, geniş alın bölgesinin evrimsel olarak gelişmesi ve neokorteksin mevcut alanın % 80'ini kullanmasıyla birlikte kafatasımıza sıkıştırılabilecek en büyük miktar. Bulutun içinde düşünmeye başladığımız an, doğal limitleri aşmış olacağız – milyarlar ya da trilyonlarca şekil tanıyıcı kullanabileceğiz, yani basitçe neye ihtiyacımız olursa ve ivmelenen geri dönüşler kanunu zamanda her nokta için neyi sağlıyorsa onu kullanacağız.

Dijital neokorteksin yeni bir beceri öğrenmesi yine, biyolojik neokorteks gibi eğitimin birçok kez tekrarlanmasına ihtiyaç duyacak fakat tek bir dijital neokorteks bir yerde ve bir zamanda, bir şeyi öğrendiğinde bu bilgiyi zamanda bir aksama olmadan diğer tüm dijital neokortekslerle paylaşabilir. Her birimiz kendi özel neokorteksimizin uzantılarını bulutta tutabiliriz, bugün kişisel bilgilerimizi bulutta kendimize özel bir depoda sakladığımız gibi.

Son olarak, önemli noktalardan biri de zekâmızın dijital kısmını yedekleyebilecek olmamız. Gördüğümüz gibi, neokorteksimizde bilgi bulunduğunu söylemek yalnızca bir metafor değil ve bugün bu bilgilerin hiçbirinin yedeklenmemiş olduğunu görmek korkutucu. Elbette, beynimizdeki bilginin bir kısmını yedeklemek örneğin yazarak kaydetmek mümkün. Düşünmemizin en azından bir kısmını biyolojik vücudumuzdan daha uzun süreyle var olacak bir ortama aktarma becerisi ileri doğru atılan büyük bir adımdı fakat beynimizde kalan ciddi boyutlardaki veri zarar görmeye açık bir şekilde duruyor.

BEYİN SİMÜLASYONLARI

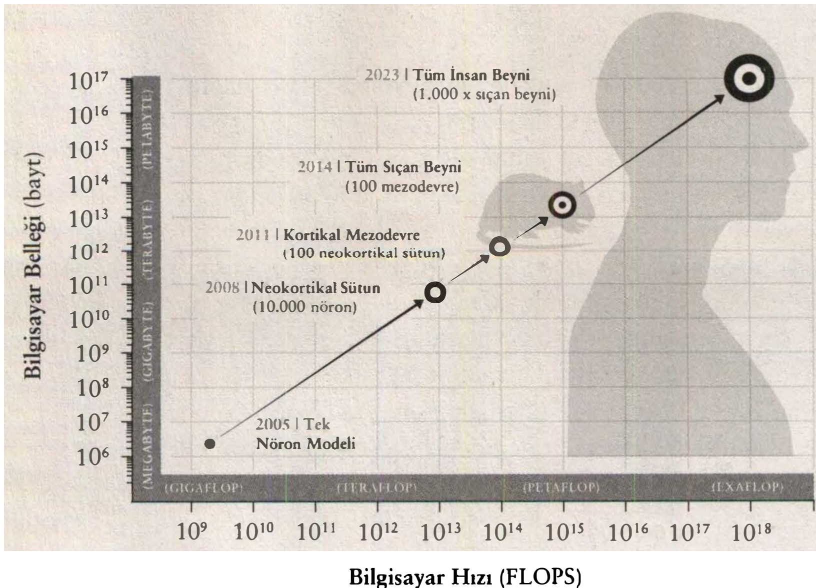
Dijital bir beyin oluşturmanın bir yolu biyolojik olanı simüle etmekten geçiyor. Örneğin Harvard'da beyin bilimleri doktora öğrencisi David Dalrymple (1991 doğumlu) bir yuvarlak solucanın beynini simüle etmeyi planlıyor.[2] Dalrymple yuvarlak solucanı seçti çünkü görece basit, 300 nörondan oluşan bir sinir sistemi var ve Dalrymple bu sistemi en detaylı şekilde, molekül seviyesinde incelemeyi planlıyor. Ayrıca, solucanın vücudunu ve çevresini de bir bilgisayar programında simülasyonunu yaratacak, bu şekilde sanal solucan (sanal) yemek için avlanabilecek ve solucanların iyi olduğu diğer şeyleri de yapabilecek. Dalrymple ilk olarak sanal dünyada yaşayan sanal bir hayvanın biyolojik olan hayvandan tam beyin yüklemesi almasının muhtemel olduğunu söylüyor. Simüle edilmiş yuvarlak solucan gibi biyolojik solucanların bile bilinçli olup olmadığı tartışmaya açık fakat yemek yeme, yemeği sindirme, avcılardan kaçınma ve üreme mücadelelerinde bilinçli olmaları gereken deneyimler yaşıyorlar.

Spektrumun bir diğer ucunda Henry Markram'ın Mavi Beyin Projesi insan beynini simüle etmeyi planlıyor, tüm neokorteks ve hipokampus, amig-

dala ve beyincik gibi eski beyin bölgeleri de dahil. Planlanan simülasyonlar farklı detay seviyelerinde, moleküler düzeydeki simülasyonların tamamı dahil inşa edilmiş olacak. Dördüncü Bölüm'de belirttiğim gibi, Markram; neokortekste sürekli olarak tekrar edilen birkaç düzine nörondan oluşan önemli modüller keşfetti. Bu keşif, öğrenmenin bireysel nöronlar tarafından değil de modüller tarafından yapıldığını gösteriyor.

Markram'ın ilerlemesi katlanarak artan bir hız seviyesine ulaştı. 2005'te bir nöronu simüle etti ki aynı yıl projesi de başladı. 2008'de takım arkadaşları bir sıçan beynindeki bütün bir neokortikal sütunu simüle etti ki bu sütun 10.000 nörondan oluşuyordu. 2011'de bu sayı 100 sütuna ulaştı, yani Markram'ın adına mezodevre dediği toplamda bir milyon hücre simüle edilmiş oldu. Markram'ın işine dair uyuşmazlık yaratan tek şey simülasyonların doğru olup olmadığının nasıl kanıtlanacağıydı. Bunu yapmak için bu simülasyonlar öğrenme gösteriyor olmalı, aşağıda bu konuyu tartışacağım.

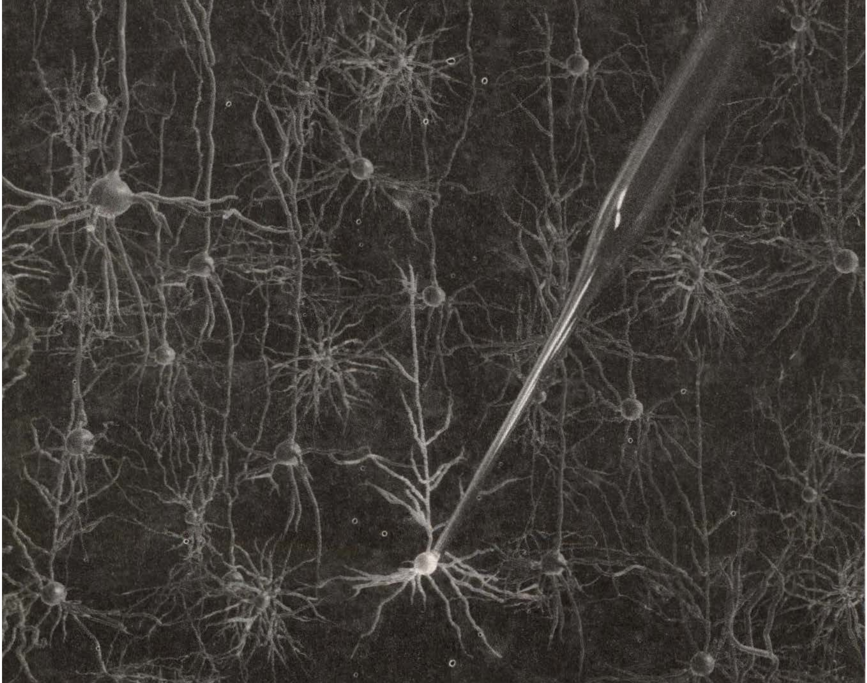
Markram 2014'e kadar 100 mezodevrelik bir sıçan beyninin tamamını simüle etmeyi planlıyor, toplamda 100 milyon nöron ve bir trilyon sinaps. Oxford'da gerçekleşen 2009 TED konferansında Markram "İnsan beyni inşa etmek imkânsız ve bunu 10 yıl içinde yapabiliriz," dedi.[3] Markram'ın tam bir beyin simülasyonu için en son hedefi 2023.[4]



Mavi Beyin beyin simülasyon projesinin asıl ilerlemesi ve planlanan ilerlemesi.

Markram ve takım arkadaşları modellerini gerçek nöronların detaylı anatomik ve elektrokimyasal analizleriyle temellendiriyor. Kendi yarattıkları ve patch-clamp robotu(*) adını verdikleri otomatikleştirilmiş bir araç kullanarak belirli iyon kanallarını, nörotransmiterleri ve her nöronda elektrokimyasal etkinlikten sorumlu olan enzimleri ölçüyorlar. Otomatikleştirilmiş sistemleri, Markram'a göre altı ayda otuz yıllık analiz yapabilecekti. Bu analizlerden neokorteksin temel fonksiyonel birimi olan "Lego bellek" birimlerini fark ettiler.

Robotik patch-clamp teknolojisine, MIT'de sinirbilimci olan Ed Boyden, Georgia Tech makine mühendisliği profesörü Craig Forest ve Forest'ın yüksek lisans öğrencisi Suhasa Kodandaramaiah'tan ciddi boyutlarda katkı geldi. Bir mikrometrelik bir duyarlılıkta sinirsel dokuyu çok yakın ölçüde nöronların zarif zarlarına zarar vermeden tarayabilen otomatik bir sistem geliştirdiler. Boyden, "Bu robotun yapabildiği fakat insanın yapamadığı bir şey," yorumunda bulundu.



MIT ve Georgia Tech'te geliştirilen patch-clamp robotunun ucu sinirsel dokuyu tararken.

(*) Parça kenetleme robotu – ç.n.

Markram'ın simülasyonuna dönecek olursak; bir neokortikal sütunu simüle ettikten sonra Markram'ın 'Şimdi sadece ölçeği büyütmemiz gerekecek,'[5] dediği alıntılandı. Ölçeklendirme tabii ki büyük bir faktör fakat başka bir önemli engel var ki o da öğrenme. Markram 2009 yılında BBC ile yaptığı bir röportajda Mavi Beyin Projesi için "konuşacak, zekâ sahibi olacak ve aşağı yukarı insanlar gibi davranacak" diyerek projenin hedefini belirtti ve eğer ki projenin amacı bu ise bu görevleri yerine getirmesi için simüle edilen neokorteksin yeterli miktarda içeriğe sahip olması gerekirdi.[6] Yenidoğan bir bebekle konuşan herhangi bir kişinin de doğrulayacağı gibi bu durum uygulanmadan önce ciddi boyutta bir öğrenme sağlanmalıdır.

Mavi Beyin gibi programlanmış bir beyinde bunun yapılabilmesinin iki belirgin yolu vardır. Bir tanesi programlanmış beynin bu içeriği insan beyninin yaptığı şekilde öğrenmesidir. Mavi Beyin, yenidoğan bebek beyni gibi hiyerarşik öğrenmeye doğuştan gelen bir kapasiteyle ve beynin ön işleme bölümlerinde önceden programlanan belirli dönüşümlerle başlayabilir. Ancak karşılıklı konuşabilen biyolojik çocuk ve yetişkin arasında gelişen öğrenme, biyolojik olmayan öğrenmede öğrenilen başka şeylerle karşılaştırılabilir bir şekilde olmalıdır. Bu yaklaşımla ilgili sorun, simüle edilen bir beyinde ve Mavi Beyin Projesi'nde beklenen ayrıntı seviyesinin 2020'lerin başına kadar gerçek zamanda gerçekleşeceği beklenmiyor olmasıdır. Gerçek zamanda, bu ayrıntı seviyesinin gerçekleşmesi için araştırmacılar yetişkin bir insan zekâsının benzerine ulaşmak için on ya da yirmi yıl kadar beklemeye hazır olmazlarsa, gerçek zamanlı performans giderek bilgisayarlardaki fiyat/performans oranı gibi hızlanacak olsa da, oldukça yavaş ilerleyecektir.

Bir diğer yaklaşım da hâlihazırda yeterli bilgiye sahip, anlamlı bir dilde iletişim kuracak ya da olgun davranışlar sergileyecek ve neokortikal şekillerini simüle edilmiş beyne kopyalayabilecek bir ya da birden fazla biyolojik insan beynini kullanmaktır. Bu yöntem ile ilgili sıkıntı ise yeterli uzaysal ve zamansal çözünürlüklü, böylesine bir görevi çabucak ve tamamen gerçekleştirebilecek hızda, saldırgan (*invaziv*) ve zararlı olmayan tarama teknolojileri gerektirmesidir. Böyle bir "yükleme" teknolojisinin 2040'lara kadar mümkün olmasını beklemiyorum. (Bir beynin simüle edileceği hassasiyet derecesinin sayısal gerekliliği, ki tahminimce bu sayı saniyede 10^{19} hesaplama civarında, 2020'lerin başına kadarki planlarıma göre bir süper bilgisayarda mevcut olacaktır; bununla birlikte zararlı olmayan beyin tarama teknolojilerinin gerekliliği daha uzun sürecektir.)

Üçüncü bir yaklaşım daha var ve inanıyorum ki bu yaklaşım Mavi Beyin gibi simülasyon projelerinin takip etmesi gereken yaklaşımdır. Kendi işlevsel algoritmik yöntemimden (bu kitapta tarif edilen) tam moleküler simülasyonlara daha yakın olan simülasyonlara kadar değişebilen farklı özgünlük düzeylerinde işlevsel eşlerini yaratarak moleküler modelleri basitleştirebiliriz. Öğrenmenin hızı da bu şekilde kullanılan basitleştirme seviyesine bağlı olarak yüzlerce ya da binlerce kat artırılabilir. Simüle edilen beynin (işlevsel modeli kullanarak) görece daha hızlı öğrenebilmesi için bir eğitim programı tasarlanabilir. Daha sonra da tam moleküler simülasyon, birikmiş öğrenmesini kullanırken basitleştirilmiş modele uygulanabilir. Daha sonra öğrenmeyi tam moleküler modelle daha düşük bir hızda simüle edebiliriz.

Amerikalı bilgisayar bilimcisi Dharmendra Modha ve IBM'deki iş arkadaşları hücreden hücreye bir simülasyonla 1,6 milyar sanal nöron ve 9 trilyon sinapstan oluşan, insan görsel neokorteksinin bir kısmını yarattılar ki bu kısım bir kedi neokorteksine eş sayıda sinaps içerir. Bu neokorteks, 147.456 işlemciden oluşan IBM BlueGene/P süper bilgisayarında gerçek zamandan 100 kat daha yavaş hareket ediyor. Çalışma, Association for Computing Machinery'den (Programlama Makineleri Birliği) Gordon Bell Ödülü'nü aldı.

Mavi Beyin ve Modha'nın neokorteks simülasyonu gibi beyin simülasyon projelerinin amacı özellikle işlevsel bir modeli arıtmak ve doğrulamaktır. İnsan düzeyindeki Yapay Zekâ öncelikle, bu kitapta sözü edilen, işlevsel algoritmik model türünü kullanacaktır. Bununla birlikte, moleküler simülasyonlar bu modeli geliştirmek ve önemli olan detayları tam anlamıyla anlamak için bize yardımcı olacaktır. Konuşma tanıma teknolojisini 1980 ve 1990'larda geliştirirken, işitsel sinirlerin ve işitsel korteksin ilk kısımları anlaşıldığında, gerçek dönüşümle algoritmalarımızı arıtabildik. İşlevsel modelimiz kusursuz olsa da bunun biyolojik beyinlerimizde tam olarak nasıl uygulandığını anlamak insan işlevi ve işlev bozukluğu ile ilgili önemli bilgiler açığa çıkaracak.

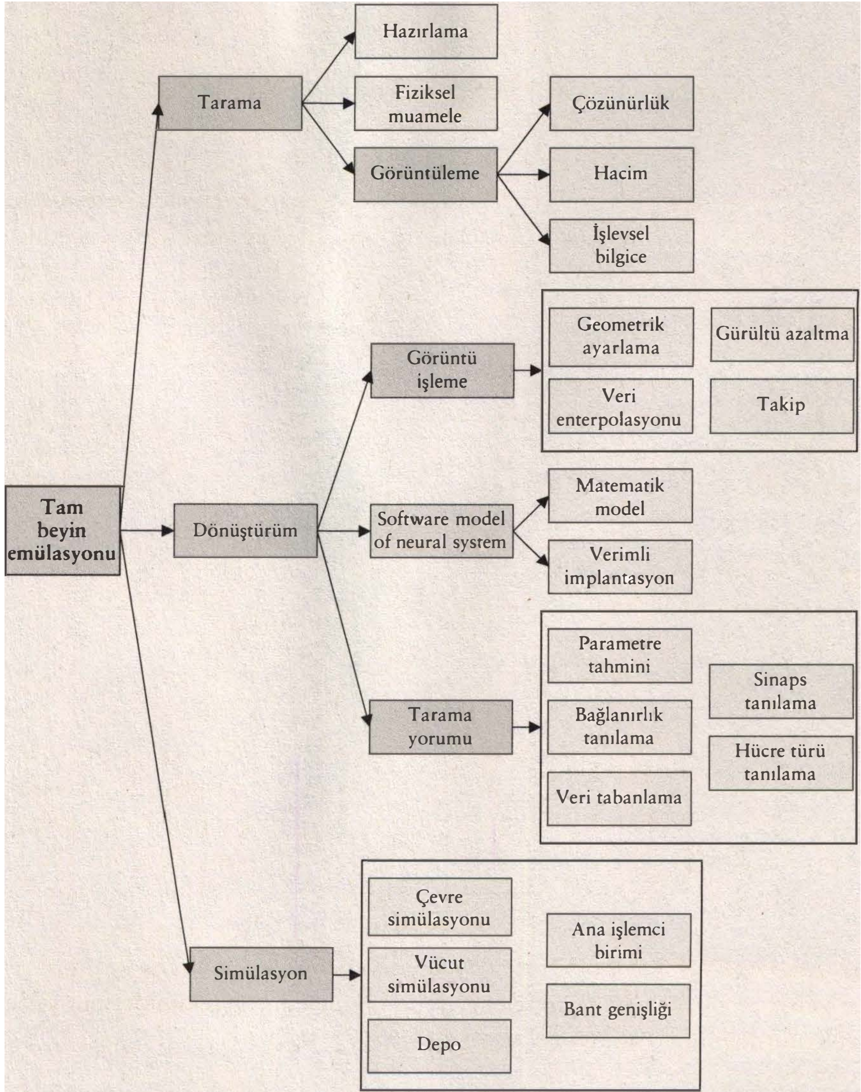
Biyolojik temelli simülasyonlar yaratmak için gerçek beyinler üzerinden detaylı veriye ihtiyacımız olacak. Markram'ın takımı kendi verisini topluyor. Bu tür verileri toplamak ve bilim insanları için genel olarak ulaşılabilir hâline getirmek için geniş çaplı projeler var. Örneğin, New York'taki Cold Spring Harbor Laboratuvarı memeli (fare) beynini tarayarak 500 terabaytlık veri topladı ve bunu Haziran 2012'de ulaşılabilir hâle getirdi. Projeleri, Google Earth'ün gezegenin yüzeyini keşfetmeye imkân tanımasına benzer şekilde, kullanıcının beyni keşfetmesini sağlıyor. Beynin tamamı etrafında hareket edebilir ve yakınlaştırarak bireysel nöronları ve onların bağlantılarını görebi-

lirsiniz. Tek bir bağlantıyı aydınlatıp, sonrasında bağlantının beyin içinde izlediği yolu takip edebilirsiniz.

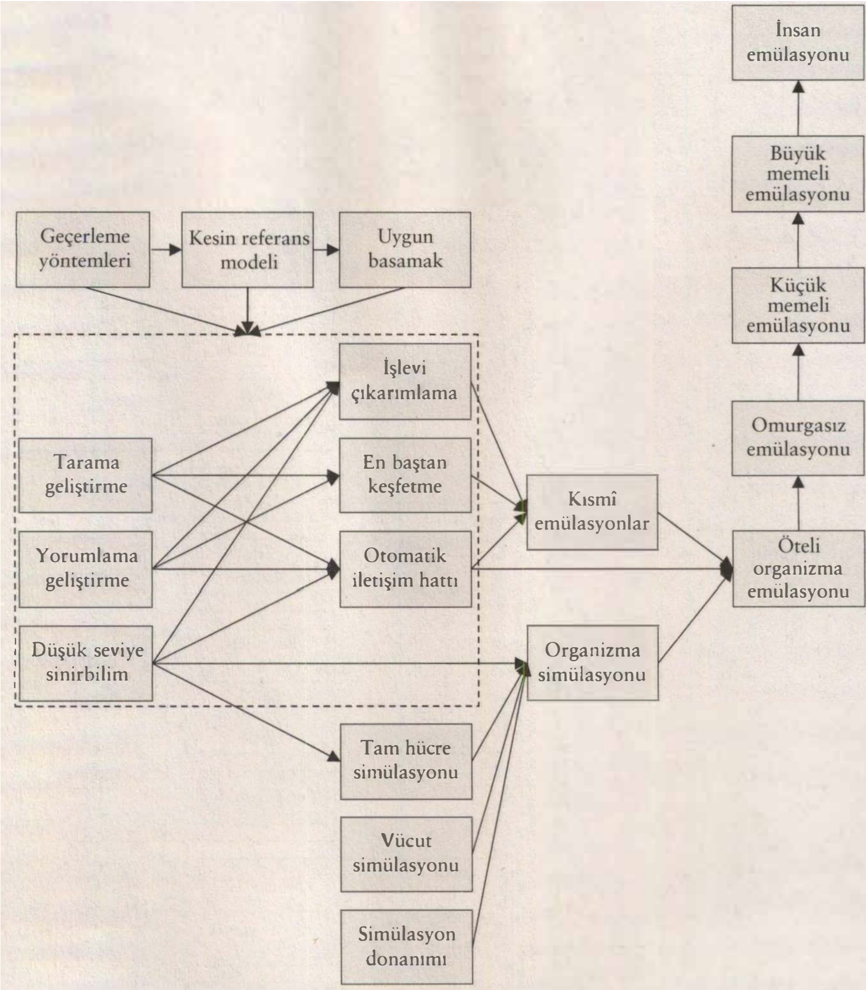
National Institutes of Health'in on altı birimi bir araya geldi ve 38,5 milyon dolar ödenekle Human Connectome Project (İnsan Konektom* Projesi) adı verilen büyük bir girişime sponsor oldu.[7] St. Louis'deki Washington University, Minnesota University, Harvard University, Massachusetts General Hospital ve University of California at Los Angeles tarafından yürütülen çalışma insan beynindeki bağlantılara benzeyen üç boyutlu bir harita yaratmayı amaçlıyor. Proje, saldırgan olmayan çeşitli tarama teknolojileri kullanıyor; yeni MR formları, manyetoensefalografi (beyindeki elektriksel faaliyetler sayesinde üretilen manyetik alanların ölçümü) ve difüzyon traktografi (beyinde lif demetleri yollarını takip etmeye yarayan yöntem) bu teknolojiler arasında. Onuncu Bölüm'de belirttiğim gibi, invaziv olmayan beyin tarama teknolojilerinin mekânsal çözünürlüğü katlanarak artan bir hızla gelişiyor. Van J. Wedeen ve çalışma arkadaşları tarafından Massachusetts General Hospital'da yapılan araştırmanın, Dördüncü Bölüm'de bahsettiğim neokorteksteki ağların oldukça düzenli, ızgaraya benzer bir yapıda olduğunu göstermesi projeden çıkan erken bir sonuç.

Oxford Üniversitesi'nde bilgisayımsal sinirbilimci olan Anders Sandberg (1972 doğumlu) ve İsveçli felsefeci Nick Bostrom (1973 doğumlu) kapsamlı *Whole Brain Emulation: A Roadmap*'i yazdılar. Bu rapor insan beynini (ve diğer türlerin beyinlerini) simüle etmek için gereken şeyleri, yüksek seviye fonksiyonel modellerden molekülleri simüle etmeye kadar varan farklı özgünlük seviyelerinde detaylandırıyor.[8] Rapor bir zaman çizelgesi sağlamıyor fakat farklı beyin türlerini beyin tarama, modelleme, depolama ve hesaplama açısından değişen kesinlik seviyelerine göre simüle etme gerekliliklerini betimliyor. Rapor tüm bu beceri alanlarında devam eden büyük kazanımları yansıtıyor ve beyni daha yüksek seviyede simüle etme gerekliliklerinin yerlerine oturduğunu savunuyor.

(*) Konektom: beyinde var olan nöronları ve sinir yollarını gösteren şema – ç.n.



Tam beyin emülasyonu için gerekli olan teknolojik becerilerin ana hatları, *Whole Brain Emulation: A Roadmap*, Anders Sandberg ve Nick Bostrom.

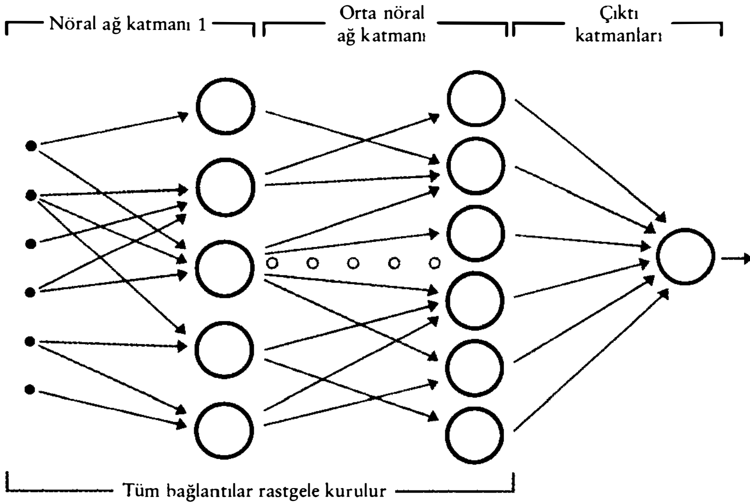


Anders Sandberg ve Nick Bostrom tarafından yazılan
***Whole Brain Emulation: A Roadmap*'in ana hatları.**

SİNİR AĞLARI

1964'te, on altı yaşındayken, Cornell Üniversitesi'nde profesör olan Frank Rosenblatt'a (1928-1971) Mark 1 Perceptron adı verilen bir makineyle ilgili soru sormak için yazdım. Rosenblatt bu makineyi dört yıl öncesinde yaratmıştı ve beyne benzer özellikler taşıyan bir makine olarak tarif etmişti. Rosenblatt beni, kendisini ziyaret etmem ve makineyi denemem için davet etti.

Perceptron, Rosenblatt'ın elektronik nöron modeli olduğunu iddia ettiği modellerden inşa edilmişti. Girdi iki boyutta ayarlanan değerleri kapsıyordu. Konuşma için, tek boyut; frekansı ve diğer zamanı temsil ediyordu dolayısıyla her değer, zamanda verilen bir noktadaki frekans yoğunluğu temsil ediyordu. Görüntüler için her nokta iki boyutlu görüntüdeki bir pikseldi. Verilen girdideki her nokta rastgele bir şekilde simüle edilen nöronların ilk katmanındaki girdilere bağlıdır. Her bağlantı kendisiyle ilişkili bir sinaptik güce sahiptir ve bu bağlantılar ilk başta rastgele bir değerle ayarlanan önemleriyle temsil edilir. Her nöron kendine gelen sinyalleri üst üste koyar. Eğer birleştirilmiş sinyal belirli bir eşik değerini aşarsa nöron ateşler ve çıktı bağlantısına bir sinyal gönderir; eğer birleştirilmiş sinyal eşik değerini geçmediyse nöron ateşlemez ve çıktısı sıfır olurdu. Her nöronun çıktısı bir sonraki katmandaki nöronların girdilerine rastgele bir şekilde bağlıydı. Mark 1 Perceptron üç katmana sahipti ki bunlar çeşitli şekillerde kurulabilirdi. Örneğin, bir katman daha önceki bir katmanı beslemiş olabilir. En üst katmanda, yine rastgele se-



çilmiş olan bir ya da daha fazla nöronun çıktısı cevabı bulmamızı sağlayabilir. (Sinirsel ağların algoritmik tanımı için bu son nota bakınız.)[9]

Sinirsel ağ örgüsü ve sinaptik ağırlıklar başlangıçta rastgele ayarlanmış olduğundan eğitilmemiş bir sinirsel ağın cevapları da rastgele olur. Bir sinirsel ağ, dolayısıyla, kendi konusunu kendi öğrenmelidir. Tıpkı üzerinden modellendiği varsayılan memeli beyinleri gibi. Sinirsel ağ bilgisiz bir şekilde yola koyulur; hocası –bir insan, bir bilgisayar programı ya da derslerini geçmiş, daha olgun bir başka sinirsel ağ olabilir– öğrenci sinir ağını doğru çıktıyı verdiğinde ödüllendirir ve bunu yapmadığında cezalandırır. Bu geri bildirim daha sonra öğrenci sinir ağı tarafından sinirler arası bağlantının her birinin gücünü ayarlamak için kullanılır. Doğru cevaplarla uyumlu olan bağlantılar daha güçlü hâle gelir. Yanlış cevabı savunan bağlantılar ise zayıf hâle getirilir.

Zamanla sinir ağları bir eğitmen olmadan, kendi kendilerine doğru cevabı bulabilirler. Deneyler, sinir ağlarının güvenilmez öğretmenlere rağmen ana fikri öğrendiğini gösterdi. Eğer öğretmen, zamanın % 60'ında doğruysa öğrenci sinir ağı derslerini % 100'e varan bir kesinlik oranıyla öğrenecek.

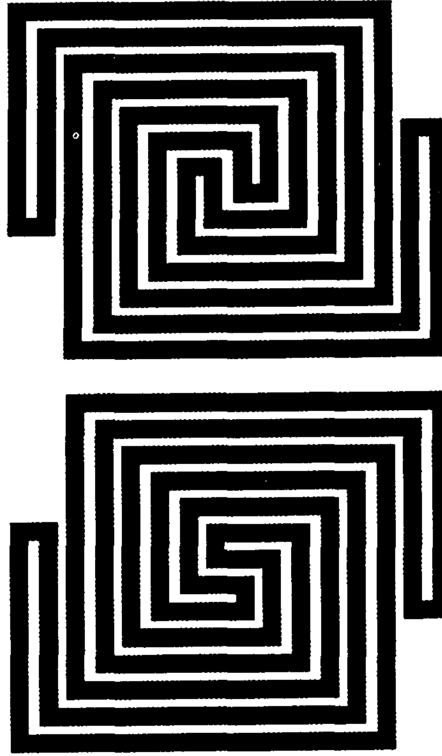
Bununla birlikte, Perceptron'un hızlıca öğrenebileceği malzeme aralığının sınırları belirgin hâle geldi. Profesör Rosenblatt'ı 1964'te ziyaret ettiğimde, girdilere basit değişiklikler yapmayı denedim. Sistem, basılı harfleri tanımaya ayarlanmıştı ve harfleri kesin bir şekilde tanıyordu. Sistem otomatik çağrıştırma (yani harfleri bir kısımlarını kapatmış olsam da tanıyabiliyordu) işini de gayet iyi yapıyordu fakat değişmezlik konusunda (yani boyut ve yazı tipi konusunda genelleme yapmak, ki bu sistemin kafasını karıştırdı) otomatik çağrıştırmada olduğu kadar iyi değildi.

1960'ların son yarısında, bu sinir ağları inanılmaz popüler hâle geldi ve "bağlantıcılık"* alanı yapay zekâ alanının en azından yarısını ele geçirdi. Yapay zekâya daha geleneksel bir yaklaşım, bu arada, belirli sorunlara getirilen program çözümlerine direkt girişimleri içeriyordu; basılı harflerin değişmez özelliklerinin nasıl tanındığı gibi.

1964'te ziyaret ettiğim bir diğer kişi Marvin Minsky (1927 doğumlu) idi. Minsky yapay zekâ alanının kurucularındandı. 1950'lerde sinir ağları üzerine öncü çalışmalar yapmış olsa da giderek artan bir ilgiyle teknik ile alakadar oluyordu. Sinir ağlarının cazibesi biraz da sözüm ona programlama gerektirmiyor olmalarından geliyordu; kendi kendilerine sorunları çözmeyi öğreniyorlardı. 1965'te MIT'ye bir öğrenci olarak girdiğimde Profesör Minsky

---

(*) Zihinsel süreçlerin ve davranışın, kalıtımla kazanılmış veya öğrenilmiş olan tepki örnekleri ve uyaranlara dayalı olduklarını belirten teori.



Marvin Minsky ve Seymour Papert tarafından yazılan *Perceptrons* kitap kapağından iki görüntü. Üstteki şekil bağlı değil (yani koyu alan birbirinden ayrı iki parçaya sahip). Alttaki şekil ise bağlı. Bir insan bunu kolaylıkla saptayabilir, tıpkı basit bir yazılım programının fark edebileceği gibi. Frank Rosenblatt'ın Mark 1 Perceptron'u gibi bir ileri bildirim algılayıcısı ise bu belirlemeyi yapamaz.

mentorumdu ve "bağlantıcılık" çılgınlığına olan şüpheci yaklaşımını paylaşıyordum.

1969'da MIT Yapay Zekâ Laboratuvarı'nın kurucuları olan Minsky ve Seymour Papert (1928 doğumlu) *Perceptrons (Algılayıcılar)* adı verilen bir kitap yazdılar. Bu kitap temel bir teori sunuyordu: özellikle, bir Perceptron doğal olarak bir görüntünün (bağlantıcılık kapsamında) bağlı olup olmadığını saptayamıyordu. Kitap bir ateş fırtınası yarattı. Bir görüntünün bağlı olup olmadığını belirlemek insanların çok kolayca yapabildiği bir iştir ve bir bilgisayarı bu ayrımı yapmaya programlamak da kolay bir süreçtir. Algılayıcıların bunu yapamamış olması birçok kişi tarafından onulmaz bir kusur olarak nitelendirildi.

Perceptrons kitabı ise aslında ima ettiğinden daha fazlasını ima ediyormuş gibi yorumlandı. Minsky ve Papert'ın savı sadece ileri bildirim sinirsel ağı (Rosenblatt'ın Perceptron'unu içinde barındıran kategori) adı verilen belirli bir sinirsel ağ türüne uygun düştü; diğer sinirsel ağ türleri bu kısıtlamanın dışında kalıyor. Yine de, kitap 1970'lerde çoğu ödeneğin sinirsel ağ araştırmalarına harcanmasını sağladı. Bu alan 1980'lerde daha gerçekçi olduğu iddia edilen biyolojik nöronları kullanma ve Minsky-Papert Algılayıcı savının işaret ettiği kısıtlamalardan kaçınma girişimlerine geri döndü. Bütün bunlara rağmen, neokorteksin –gücünü simgeleyen– değişmezlik sorununu çözebilme yeteneği yeniden doğan bağlantıcı alan için anlaşılması zor bir beceri olarak kaldı.

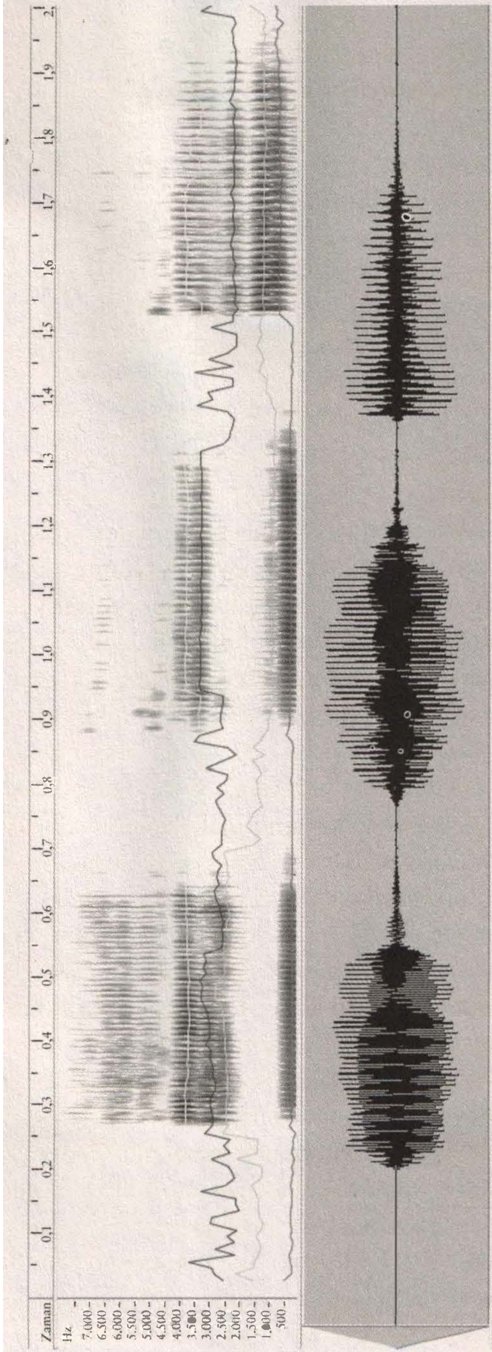
SEYREK KODLAMA: VEKTÖR NİCEMLEME

1980'lerin başında başka bir klasik şekil tanıma sorununa adanan bir projeye başladım: insan konuşmasını anlama. Başlangıçta, konuşmanın temel birimleri –fonemler– hakkında üst düzey bilgiyi direkt programlama ile ve insanların fonemleri sözcük ve sözcük öbeği oluştururken nasıl bağladığı ile ilgili kuralları dilbilimcilerden alarak geleneksel yapay zekâ yaklaşımları kullandık. Her fonem kendine özgü frekans örneklerine sahiptir. Örneğin, "e" ve "a" biçimleyici adı verilen belirli tınlayıcı frekanslarla, her fonem için tipik tınlayıcı oranıyla, karakterize edilmiştir. Islıklı ünsüzler, örneğin "z" ve "s", birçok frekansı tarayan bir gürültü patlayışıyla nitelendirilir.

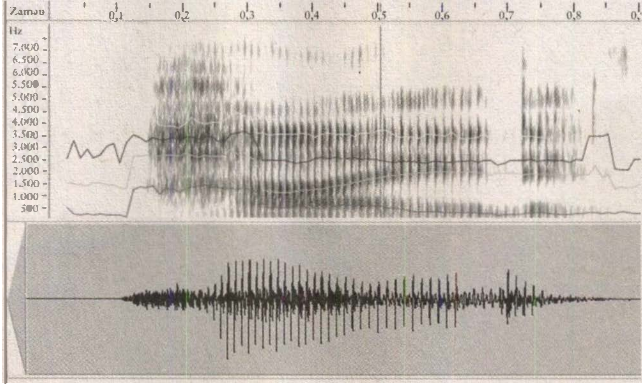
Konuşmayı bir dalga biçiminde yakaladık ki daha sonra bunu frekans filtre bankası kullanarak (basamaklar olarak algılanan) birçok frekans bandına dönüştürdük. Bu biçim değiştirmenin sonucu görülebilir bir şemaydı ve adı da spektrogramdı (bkz. sayfa 117).

Filtre bankası insan kohleasının yaptığı şeyi kopya ediyor ki bu da sesi biyolojik olarak işlemenin ilk adımıdır. Yazılım ilk önce frekans örneklerini ayırt etmeyi temel alarak fonemleri tespit etti ve daha sonra özgün fonem sekanslarını tespit etmeyi temel alarak sözcükleri tanımladı.

Sonuç kısmen başarılıydı. Cihazımızı orta derecede sözcük dağarcığı kullanan belirli bir insanın şekillerini öğrenmek üzere eğittik, binlerce sözcükte ölçtük. Birden fazla konuşmacıdan on binlerce sözcüğü tanımaya giriştiğimizde ve sadece devam eden bir konuşmayı (yani, sözcükler arasında duraklama olmadan yapılan konuşma) denediğimizde değişmezlik sorunuyla karşılaştık. Farklı insanlar aynı fonemi farklı şekillerde telaffuz etti, örneğin bir kişinin "e" fonemi bir başkasının "a" fonemi gibi çıkabiliyordu. Hatta aynı kişi bile belirli bir fonemi farklı zamanlarda telaffuz ederken tutarlı değil-



Üç sesli harfin spektrogramı. Soldan sağa: "appreciate" [i], "acoustic" [u] ve "ah" sözcüğündeki [a] gibi. Y ekseni sesin frekansını temsil ediyor. Bant ne kadar koyu olursa o frekanstaki akustik enerji o kadar fazla oluyor.



"Hide" (saklanmak) sözcüğünü söyleyen kişinin spektrogramı.
Yatay çizgiler özellikle yüksek enerjiye sahip devamlı frekanslar olan formanları gösteriyor.[10]

di. Bir fonemin şekli sıklıkla yakındaki diğer fonemlerden etkileniyordu. Birçok fonem tamamen dışarıda kaldı. Sözcüklerin okunuşu (yani fonemlerin sözcükleri oluşturmak için nasıl dizildiği) da oldukça değişkendi ve konuya bağlıydı. Programladığımız dilbilimsel kurallar yıkılıyordu ve konuşma dilinin aşırı değişkenliğine ayak uyduramıyordu.

O zaman, insan şekil ve kavramsal tanımasının hiyerarşiler üzerine temellendiğini daha açık şekilde gördüm. Bu durum, insan dili için kesinlikle aşikâr zira insan dili detaylı bir yapı hiyerarşisi içeriyor. Ancak, bu yapıların temelinde olan unsur nedir? Tamamen normal olan insan dilinin otomatik tanınması için bir yol ararken düşündüğüm ilk soru buydu.

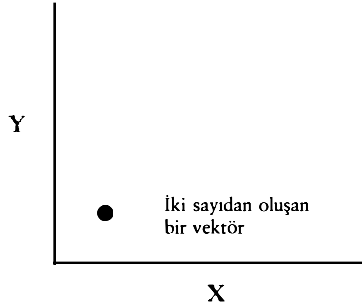
Ses kulağa havanın titreşimi olarak girer ve kohleadaki yaklaşık 3.000 tüy hücresi tarafından birçok frekans bandına dönüştürülür. Her bir tüy hücresi belirli bir frekansa ayarlıdır (frekansları tını şeklinde algıladığımızı not edelim) ve her biri frekans filtresi gibi davranır yani kendi rezonans frekansında olan ya da ona yakın frekansa sahip bir ses sinyalini yayar. Dolayısıyla ses, insan kohleasından çıkarken yaklaşık 3.000 ayrı sinyalle temsil edilir, bu sinyallerin her biri dar frekans bantlarının zamanla değişen yoğunluğunu belirtir (bantlar arasında birbiriyle örtüşenler azımsanmayacak miktardadır).

Beynin çoğunlukla paralel olması görünür olsa da 3.000 ayrı işitsel sinyalden şekil eşleştirmesi yapıyor olması bana imkânsız görünmüştü. Evrimin bu kadar verimsiz oluşundan şüphe duymuştum. Şimdi biliyoruz ki önemli miktarda veri eksiltmesi ses sinyalleri daha neokortekse ulaşmadan işitsel sinirde gerçekleşiyor.

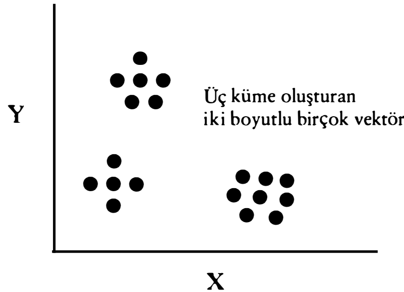
Yazılım temelli konuşma tanıyıcılarımızda bizler de yazılım şeklinde eklenmiş filtreler kullandık – net olmak gerekirse 16 filtre (ki daha sonra bu sayıyı 32'ye çıkardık ve bu sayıdan daha yukarı çıkmanın çok faydalı olmadığını gördük). Bu yüzden, bizim sistemimizde, zamandaki her nokta 16 sayıyla temsil ediliyordu. Bu on altı veri akışını, konuşma tanımada belirleyici olan özellikleri vurgularken bire düşürmemiz gerekti.

Bunu başarmak için matematiksel olarak uygun bir teknik kullandık: vektör nicemlemesi. Zamanda herhangi belirli bir noktada, yazılımımız sayesinde ses (en azından bir kulaktan) on altı farklı numara ile temsil ediliyor: yani ses, on altı frekans filtresinden birinin çıktısı oluyor. (İnsan işitsel sisteminde bu rakam, 3.000 kohlea iç kulak tüy hücresini temsil ederdi ve 3.000 olurdu.) Matematiksel terminolojide buna benzer her bir numara dizisine (biyolojik durumda 3.000 iken yazılım uygulamamızda 16) vektör adı verilir.

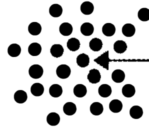
Basitlik adına vektör nicemleme sürecini iki sayının vektörü şeklinde düşünelim. Her vektör iki boyutlu uzayda bir nokta olarak düşünülebilir.



Eğer bu vektörlerden oluşan geniş bir örneğimiz varsa ve onları grafikle gösterirsek oluşan kümeleri fark etmemiz mümkün.



Kümeleri tanımlamak için kaç tanesine izin vereceğimize karar vermemiz gerekiyor. Projemizde biz genellikle 1.024 kümeye izin verdik böylelikle onları numaralandırabilir ve her kümeye 10-bit'lik (çünkü 210 = 1.024) bir etiket seçebildik. Vektörler örneğimiz tahmin ettiğimiz çeşitliliği temsil ediyor. Tereddüt ederek, ilk 1.024 vektörü tek noktalı kümeler olacak şekilde seçtik. Daha sonra 1.025'inci vektörü düşündük ve ona en yakın olan noktayı bulduk. Eğer bu mesafe 1.024 nokta arasındaki herhangi bir çift arasındaki en küçük mesafeden daha büyükse 1.025'inci noktayı yeni bir kümenin ilk noktası olarak düşündük. Daha sonra birbirine en yakın olan iki (tek noktalı) kümeyi tek bir kümeye yığdık. Dolayısıyla hâlâ 1.024 kümemiz var. 1.025'inci vektörü işledikten sonra bu kümelerden bir tanesi birden fazla noktaya sahip oluyor. Noktaları bu şekilde işlemeye devam ettik, her zaman 1.024 kümeyi sürdürecek şekilde. Tüm noktaları işledikten sonra birçok noktadan oluşan kümelerin her birini o kümedeki noktaların geometrik merkeziyle temsil ediyoruz.



Noktalar kümesi. Bu kümeyi, kümedeki tüm noktaların geometrik merkezi olan noktayı kullanarak gösteriyoruz.

Bu tekrarlamalı sürece tüm örnek noktaları işleme sokana kadar devam ediyoruz. Genellikle milyonlarca noktayı 1.024 (2^{10}) kümeye işledik; 2.048 (2^{11}) ya da 4.096 (2^{12}) küme de kullandık. Her küme, kümedeki noktaların geometrik merkezi olan tek bir vektör ile gösterildi. Dolayısıyla kümedeki tüm noktaların kümenin geometrik merkezine olan uzaklıkları toplamı olabildiğince küçük oldu.

Bu teknik sayesinde başlangıçta elimizde olan milyonlarca nokta (hatta daha çok sayıdaki muhtemel noktalar) yerine veriyi, uzaydaki konum ihtimallerini en uygun şekilde kullanan sadece 1.024 noktaya azaltmış olduk. Uzayın hiç kullanılmayan parçaları hiçbir kümeye tahsis edilmedi.

Daha sonra her kümeye bir numara verdik (bu durumda 0'dan 1.023'e kadar). Bu numara, o kümenin eksiltilmiş, "nicemlenmiş" temsilidir, bu sebeple tekniğin adı da vektör nicemlenmesidir. Gelecekte oluşacak herhangi yeni bir girdi vektörü, merkez noktası bu yeni vektöre en yakın olan kümenin numarasıyla temsil edilir.

Şimdi her kümenin merkez noktasının diğer kümelerin merkez noktasına olan uzaklığını önceden hesaplayarak bir tablo oluşturabiliriz. Bu şekil-

de yeni girdi vektörünün (ki bu vektörü de nicemlenen nokta ile gösteririz – diğer bir deyişle bu yeni noktanın en yakın olduğu kümenin numarası ile gösteririz) diğer kümelere olan uzaklığını biliriz. Noktaları en yakın kümelerle temsil ettiğimiz için bu noktanın gelme ihtimali olan diğer noktalara uzaklığını bilmiş oluruz.

Yukarıdaki tekniği sadece iki sayıdan oluşan vektörlerle açıkladım fakat on altı unsurdan oluşan vektörlerle çalışmak da bu basit örnekle tamamen benzeşiyor. On altı farklı frekans bandını temsil eden on altı numaradan oluşan vektörler seçtiğimiz için sistemimizdeki her nokta on altı boyutlu uzaydaki bir nokta gibiydi. Bizler için üç boyuttan (zamanı da eklersek dört boyuttan) daha fazlasına sahip bir uzay hayal etmek zor fakat matematiğin böyle bir engeli yok.

Bu süreç ile dört şey başardık. Birincisi, verinin karmaşasını ciddi boyutlarda azalttık. İkincisi, on altı boyutlu veriyi tek boyutlu veriye (her örneği tek bir sayıyla göstererek) düşürdük. Üçüncüsü, değişmez özellikler bulma konusundaki becerimizi geliştirdik çünkü çoğu bilgiyi aktaran muhtemel sesler uzayının bölümlerini vurguluyoruz. Frekans kombinasyonlarının çoğu fiziksel olarak imkânsız ya da en azından oldukça düşük olasılıklıdır, bu yüzden olasılığı az olan girdilere olasılığı yüksek olan girdilerle eşit alan vermek için bir sebep yoktur. Bu teknik, veriyi eşit şekilde muhtemel olan ihtimalleri azaltır. Dördüncü fayda ise tek boyutlu şekil tanıyıcıları gerçek veri birçok boyuttan oluşuyor olsa da kullanabilmemizdir. Bu tekniğin, mevcut hesaba dayalı kaynakları kullanmak için en verimli yaklaşım olduğu ortaya çıktı.

GİZLİ MARKOV MODELLERİYLE ZİHNİNİZİ OKUMAK

Vektör nicemlemesi ile veriyi önemli özelliklerin altını çizecek şekilde basitleştirdik fakat hâlâ yeni bilginin manasını anlayacak değişmez özelliklerin hiyerarşisini temsil edecek bir yönteme ihtiyacımız var. O zamanlar (1980'lerin başı) şekil tanıma alanında yirmi yıl çalışmış biri olarak tek boyutlu gösterimlerin çok daha güçlü, verimli ve değişmez sonuçlara daha uygun olduğunu biliyordum. 1980'lerin başında neokorteks hakkında bilinen pek fazla şey yoktu fakat çeşitli şekil tanıma problemlerinden elde ettiğim deneyimler temel alındığında beynin de (gözlerden, kulaklardan ya da deriden aldığı) çok boyutlu verisini, özellikle neokorteks hiyerarşisinde kavramlar yükseldikçe, tek boyutlu bir gösterim kullanarak eksiltiyor olabileceğini varsaydım.

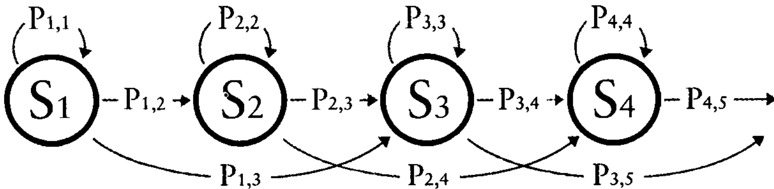
Konuşma tanıma problemi için, konuşma sinyalindeki bilginin düzenlenmesi şekiller hiyerarşisine benziyordu ve her şekil ileri doğrultuda doğru-

sal ögeler zinciri ile temsil ediliyordu. Her şeklin ögesi daha düşük bir seviyede farklı bir şekil ya da bir girdinin temel birimiydi (ki konuşma tanıma durumda her şekil nicemlenmiş vektörlerimiz oluyor).

Bu durumun daha önce öne sürdüğüm neokorteks modeliyle tutarlı olduğunu fark edeceksiniz. İnsan konuşması, dolayısıyla, beyinde doğrusal şekiller hiyerarşisi tarafından üretilir. Konuşan bir insanın beynindeki bu şekilleri inceleyebilseydik söyleyişini beyin şekilleriyle eşleştirmek ve ne söylediğini anlamak oldukça basit olurdu. Ne yazık ki konuşmacının beynine direkt olarak ulaşma imkânımız yok – hatta sahip olduğumuz tek bilgi konuşmacının gerçekten ne söylediği. Elbette konuşma dilindeki bütün mesele bu, konuşmacı söyleyişi sayesinde zihninin bir parçasını bizlerle paylaşıyor.

Dolayısıyla şunu merak ettim: Konuşmacının sözcüklerini temel alan ve onun beyin şekillerine bizi ulaştırabilecek bir matematiksel teknik var mıdır? Tek bir söyleyiş belli ki yeterli olmuyor fakat eğer geniş bir örnek sayımız olsaydı bu bilgiyi temelde konuşmacının neokorteksindeki şekilleri okumak için kullanabilir miydik (ya da en azından matematiksel olarak yeni söyleyişleri tanımamızı sağlayacak yeni bir şey formüle edebilir miydik)?

İnsanlar sık sık matematiğin ne kadar güçlü olabileceğini gözden kaçırırlar – unutmayalım ki insani bilginin çoğunu arama motorlarıyla saniyenin küçük bir parçası kadarlık bir zamanda arayabilmemizin temeli matematiksel tekniklere dayanır. 1980'lerin başında karşılaştığım konuşma tanıma sorunu için çözüm, gizli Markov modellerinin duruma oldukça iyi uymasıyla ortaya çıktı. Rus matematikçi Andrei Andreyevich Markov (1856-1922) evrelerin (state) hiyerarşik sekanslarıyla ilgili matematiksel bir teori inşa etti. Model bir zincirde evreleri geçmenin olasılığını temel alıyordu ve eğer başarılı olursa hiyerarşinin daha yüksek seviyesinde sonraki evreyi ateşliyordu. Tanıdık geliyor mu?



Gizli Markov modelinin tek katmanının basit bir örneği. S_1'den S_4'e kadar bu harfler, 'gizli' iç evreler (state) temsil ediyor. $P_{i,j}$ geçişlerinin her biri evre S_i'den S_j'ye geçişin olasılığını gösteriyor. bu olasılıklar eğitim verisinden (kullanım sırası verileri dahil) öğrenen sistem tarafından belirleniyor. Yeni bir sekans (örneğin yeni bir söyleyiş) bu olasılıklarla eşleştirilip modelin aynı sekansı üretme ihtimalini belirliyor.

Markov'un modeli her evrenin başarılı bir şekilde oluşum olasılığını da içeriyordu. Markov, doğrusal sekanslar evrelerinden oluşan bir sistemin var olduğu bir durum düşündü fakat bunlar direkt olarak incelenebilen evrelerden oluşmuyordu – *gizli* Markov modelleri adı da buradan geliyor. En düşük hiyerarşi basamağı sinyalleri salıyor ki bunlar, tek görebildiğimiz kısım oluyor. Markov her geçişin olasılığının, gözlemlenen çıktıya bağlı olması gerektiğini hesaplamak için matematiksel bir teknik sağlıyor. Yöntem sonradan 1923'te Norbert Wiener tarafından sadeleştirildi. Wiener'ın sadeleştirmesi Markov Modeli'ndeki bağlantıları belirlemek için bir yol da sağlamış olurdu; özünde çok düşük olasılığa sahip herhangi bir bağlantı var olmamış gibi düşünülüyordu. Bu aslında insan neokorteksinin bağlantıları azaltma yöntemidir – eğer bu bağlantılar çok az kullanılır ya da hiç kullanılmazsa olasılık dışı görülürler ve budanırlar. Bizim durumumuzda gözlemlenen girdi, konuşan kişi tarafından yaratılan konuşma sinyalidir ve Markov modellerinin evre olasılıkları ile bağlantıları, sinyal yaratan neokortikal hiyerarşiyi oluşturur.

Zihnimde canlandırdığım şey; bağlantıları ve olasılıkları olan evreler hiyerarşisini çıkarmak üzere (özellikle konuşma üretmek için simüle edilmiş bir neokorteks hiyerarşisini), insan konuşmasının örneklerini alabildiğim bir sistemi alıp gizli Markov modeli tekniğini uygulamak ve sonra çıkarılan evrelerin hiyerarşik ağ örgüsünü yeni söyleyişler tanımak için kullanmaktır. Konuşmacıdan bağımsız olan bir sistem yaratmak için birçok farklı kişiden alınan örnekleri kullanıp gizli Markov modellerini eğitebilirdik. Hiyerarşi ögelerinin dildeki bilginin hiyerarşik doğasını temsil etmesi amacıyla eklenmesiyle bu tekniğe, doğru bir şekilde, hiyerarşik gizli Markov modelleri (Hierarchical Hidden Markov Models, HHMMs) adı verildi.

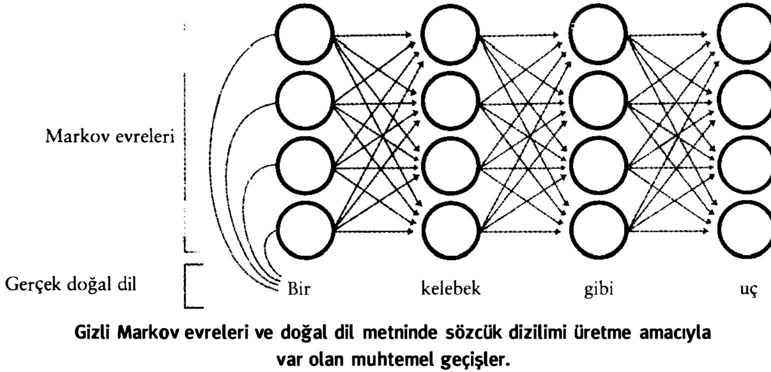
Kurzweil Applied Intelligence'daki meslektaşlarımın bu tekniğin çalışması konusunda şüpheleri vardı. Sinir ağlarını andıran, ki bu ağlarla çok az başarılı olduk ve gözümüzden düştüler, bu modelin kendini düzenleyen bir yöntem olduğu düşünüldüğünde bazı şüphelerin doğması normal. Buna karşılık bir sinirsel ağ sistemi sabittir ve kendini girdiye uyarlamaz: girdilerin ağırlıkları uyarlanır fakat bağlantılar uyarlanmaz. Markov modeli sisteminde, sistem doğru ayarlanırsa sistem kullanılmayan bağlantıları budayacaktır, bu şekilde aslında sistem topolojiye uyarlanacaktır.

"Kokarca işleri" projesi (işlek yoldan değil de uygun kaynakları az olan başka bir yoldan giden proje için örgütsel bir terim) olarak görülen; ben, yarı-zamanlı bir programcı ve bir elektrik mühendisinden (frekans filtre ban-

kasını yaratmak için) oluşan bir projeydi. Meslektaşlarımın şaşırdığı üzere, çabamız oldukça başarılı oldu, projemiz yüksek kesinlik ile geniş bir sözcük dağarcığını tanımada başarılıydı.

Bu deneyden sonra gelen tüm konuşma tanıma çabalarımız hiyerarşik gizli Markov modelleri üzerine inşa edildi. Diğer konuşma tanıma firmaları bu yöntemin değerini bizden bağımsız bir şekilde keşfetti ve 1980'lerin ortasından beri çoğu otomatikleştirilmiş konuşma tanıma işi bu yaklaşım üzerine temellendirildi. Gizli Markov modelleri konuşma sentezinde de kullanılıyor – unutmayalım ki biyolojik kortikal hiyerarşimiz sadece girdiyi tanımak için değil aynı zamanda çıktıyı üretmek için de kullanılır; örneğin, konuşma ve fiziksel hareket.

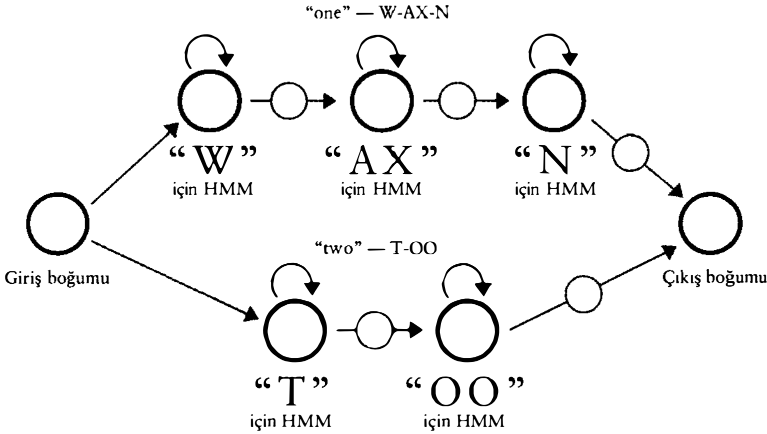
HHMM'ler ayrıca doğal dildeki cümlelerin anlamını anlayan sistemlerde de kullanılırlar, ki bu da kavramsal hiyerarşide yukarı çıkmayı temsil eder.



Gizli Markov evreleri ve doğal dil metninde sözcük dizilimi üretme amacıyla var olan muhtemel geçişler.

HHMM yönteminin nasıl çalıştığını anlamak için mümkün olan tüm evreler arası geçişleri kapsayan bir ağ örgüsüyle başlıyoruz. Yukarıda açıklanan vektör nicemleme yöntemi burada kritik öneme sahip çünkü diğer türlü hesaba katılacak çok çok fazla ihtimal olurdu.

İşte basitleştirilmiş, muhtemel bir ilk topoloji:



Basit bir gizli Markov model topolojisi ağızdan çıkan iki sözcüğü tanımaya çalışıyor.

Örnek söyleyişler teker teker işlenir. Her biri için geçiş ihtimallerini tekrarlayarak değiştiriyoruz çünkü işlediğimiz girdi örneğini daha iyi yansıtmak istiyoruz. Konuşma tanımada kullanılan Markov modelleri her fonemde bulunan belirli ses şekillerinin olabilirliğini, fonemlerin birbirini nasıl etkilediğini ve fonemlerin olası sırasını kodlar. Sistem aynı zamanda yüksek seviyedeki dil yapılarının olasılık ağlarını, örneğin sözcük sıralarını, söz öbeği içeriği ve dil hiyerarşisinde yükseldikçe karşımıza çıkan daha birçok şeyi kapsayabilir.

Önceki konuşma tanıma sistemleri insan dilbilimciler tarafından açıkça fonem yapısı ve dizilimleri hakkında belirli kurallar içeriyor olsa da yeni HHMM tabanlı sistemine belirgin bir şekilde İngilizcede kırk dört fonem olduğu, her fonem için olası olan vektörlerin dizilimlerinin nasıl olduğu ya da hangi fonem dizilimlerinin diğerlerinden daha olası olduğu söylenmemişti. Sistemin bu "kuralları" kendi için, binlerce saat boyunca kopya edilen insan konuşması verisinden keşfetmesine izin verdik. Bu yaklaşımın elle kodlanan kurallara göre avantajı, bilirkişilerin çoğunlukla farkında olmadığı olasılıksal kuralların modeller tarafından geliştirilebilmesidir. Sistemin veriden otomatik bir şekilde öğrendiği bu kuralların çoğunun, üstü kapalı fakat önemli şekillerde bilirkişiler tarafından kurulan kurallardan ayrı olduğunu fark ettik.

Ağ eğitildiğinde konuşmayı, gördüğümüz gerçek girdi vektörü dizilimleri doğrultusunda, ağdaki alternatif yollar sayesinde ve en muhtemel yolu se-

çerek tanımaya giriştik. Diğer bir deyişle, eğer bir söyleyiş biçimini üretme ihtimali yüksek olan bir evre dizilimi gördüysek o söyleyişin bu kortikal dizilimden geldiği sonucunu çıkardık. Simüle edilmiş HHMM tabanlı bu neokorteks, sözcük etiketleri içeriyordu, dolayısıyla duyduğu şey için bir kopya önerebiliyordu.

Sonrasında, ağı eğitmeye devam ederek ve tanıma için kullanarak sonuçlarımızı daha da geliştirebildik. Bahsettiğim gibi, eş zamanlı tanıma ve öğrenme de biyolojik neokortikal hiyerarşimizin her basamağında gerçekleşir.

EVRİMSEL (GENETİK) ALGORİTMALAR

Bir başka önemli soru daha var: Şekil tanıma sisteminin işleyişini kontrol eden parametreleri nasıl ayarlayabiliriz? Bu parametreler vektör nicemleme aşamasında imkân tanıdığımız vektör sayısını içeriyor olabilirdi, hiyerarşik evrelerin başlangıç topolojisi (gizli Markov modeli ile sistemi eğiterek budamadan önceki safha), hiyerarşinin her basamağında var olan tanıma eşiği, boyut parametrelerinin idaresinden sorumlu kontrol parametreleri ve daha birçoğu. Bunları sezgilerimize göre ayarlayabiliriz fakat sonuçlar en uygun değerlerden oldukça uzak olacak.

Bu parametrelere "Tanrı parametreleri" diyoruz çünkü bunlar kendini düzenleyen gizli Markov modellerinin topolojisini belirleme yönteminden önce (ya da, biyolojik senaryoda biyolojik olmayan senaryoya benzer bir şekilde kişinin kortikal hiyerarşisinde bağlantılar yaratarak derslerini öğrenmesinden önce) ayarlanıyor. Bu muhtemelen yanlış bir adlandırma, bazıları bu süreçte Tanrı'nın parmağı olduğunu düşünse de başlangıçta DNA tabanlı olan tasarım detayları biyolojik evrim tarafından belirleniyor (ve ben evrimi ruhsal bir süreç olarak değerlendiriyorum, bu tartışma Dokuzuncu Bölüm'de yerini bulacaktır).

İş, simüle edilen hiyerarşik öğrenme ve tanıma sistemlerimizde "Tanrı parametreleri"ni ayarlamaya geldiğinde tekrar doğadan bir ipucu aldık ve bu parametreleri evrimleştirmeye karar verdik – ki bu durumda bir evrim simülasyonu kullandık. Genetik ya da evrimsel algoritmalar (GA) adı verilen, eşeyli üremeyi ve mutasyonları içeren algoritmaları kullandık.

Bu yöntemin nasıl çalıştığına dair basitleştirilmiş bir betimleme yapalım. İlk olarak, verilen bir soruna muhtemel çözümler kodlayabilecek bir yol belirleriz. Eğer sorun bir devre için var olan tasarım parametrelerini optimize etmek ise devreyi nitelendiren tüm parametrelerin bir listesini yaparız (bu listede her parametreye verilen bit sayısı bulunur). Bu liste genetik algoritmada-

ki genetik kod gibi görülür. Daha sonra rastgele binlerce ya da daha fazla genetik kod üretiriz. Böyle her genetik kod (ki her biri bir dizi tasarım parametresini temsil eder) organizma için simüle edilen bir "çözüm" gibi düşünülür.

Sonra simüle edilen her organizmayı, tüm parametre dizilerini incelemeyi amaçlayan tanımlanmış bir yöntem kullanarak simüle edilen çevrede değerlendiririz. Bu değerlendirme genetik algoritma başarısı için çok önemlidir. Biz örneğimizde, parametreler tarafından yaratılan her programı çalıştırır ve uygun ölçütlere (görevi tamamladı mı, tamamlaması ne kadar sürdü vb.) göre değerlendirirdik. En iyi çözüm organizmaların (en iyi tasarımlar) yaşama devam etmesine izin verilir ve diğerleri elenirdi.

Şimdi hayatta kalanların aynı sayıda çözüm organizmasına ulaşana dek kendi içlerinde çoğalmasını sağlıyoruz. Bu da eşeyli üreme simüle edilerek yapılıyor: Diğer bir deyişle, her yeni organizmanın genetik kodunun bir parçasını bir ebeveynden diğer parçasını diğer ebeveynden aldığı yavrular yaratıyoruz. Genellikle erkek ve dişi organizmalar arasında bir farklılık yok, herhangi iki ebeveynin rastgele seçilmesinden bir yavrunun oluşması yeterli, dolayısıyla burada basit bir şekilde aynı cinslerin evliliğinden bahsediyoruz. Bu muhtemelen doğal dünyadaki eşeyli üreme kadar ilginç değil fakat konu ile alakalı olan nokta bir ebeveyne sahip olmaktır. Simüle edilen bu organizmalar çoğaldıkça kromozomlarda bazı mutasyonların (rastgele değişim) gerçekleşmesine izin veriyoruz.

Simüle edilmiş evrimin bir neslini tanımladık, şimdi bu aşamaları bir sonraki her nesil için tekrarlayacağız. Her neslin sonunda tasarımların ne kadar geliştiğini belirleriz (yani hayatta kalan tüm organizmalar üzerinde, değerlendirme işleyişindeki ortalama gelişmeyi hesaplarız). Bir tasarım organizması neslinden diğerine yapılan değerlendirmede, gelişme derecesi ne kadar küçük olursa bu tekrarlı turu durdurur ve son nesildeki en iyi tasarım(lar)ı kullanırız. (Genetik algoritmalarının algoritmik tanımı için son nota bakınız.)[11]

Genetik algoritmasının en önemli noktası insan tasarımcıların programı direkt bir çözüm olarak kullanması değil de simüle edilen tekrarlı yarış ve gelişme sürecinde bir organizmanın ortaya çıkmasını sağlamasıdır. Biyolojik evrim zekice işler ve fakat yavaştır, bu yüzden GA'nın zekâsını arttırarak bu ağır yürüyüşü de hızlandırıyoruz. Bilgisayar saatler ya da günler içinde birçok nesil simüle edecek kadar hızlıdır, biz de yüz binlerce nesil üretmek için zaman zaman bilgisayarları haftalarca çalıştırdık. Ancak bu tekrarlı süreç boyunca yalnızca bir kere gitmeliyiz, simüle edilen evrimin, yolunu izlemesinden sonra gerçek sorunlara evrimleşmiş ve yüksek seviyede arıtılmış kuralları hız-

lı bir şekilde uygulayabiliriz. Konuşma tanıma sistemleri durumunda, algoritmayı ağın başlangıç topolojisini ve diğer önemli parametreleri evrimleştirmesi için kullandık. Dolayısıyla kendini düzenleyen iki yöntem kullandık: belirli bir kortikal tasarımı ortaya çıkaran biyolojik evrimi simüle etmek için bir GA ve insan öğrenmesine eşlik eden kortikal düzeni simüle etmek amacıyla hiyerarşik gizli Markov modelleri.

Bir genetik algoritmanın başarısı için var olan bir diğer önemli gereklilik de muhtemel her çözümü değerlendirmek için geçerli bir yöntem. Bu değerlendirmenin hızlıca yapılması gerekiyor çünkü simüle edilen evrimde her nesil için binlerce muhtemel çözümün hesaba katılması gerekiyor. Genetik algoritmalar çok fazla değişkeni olan sorunları ve bu değişkenler için hesapladığı kesin analitik çözümleri idare etme konusunda uzmandır. Örneğin, bir motorun tasarımı yüzden çok değişken içerebilir ve düzinelerce kısıtlamaya cevap vermeyi gerektirebilir; General Electric'teki araştırmacılar tarafından kullanılan genetik algoritmalar, kısıtlamalarla sıradan yöntemlere göre daha iyi şekilde uzlaşan jet motoru tasarlayabildi.

Bununla birlikte, genetik algoritmalar kullanırken ne aradığınıza dikkat etmelisiniz. Genetik algoritma kitap istif sorununu* çözmek için kullanılmış ve harika bir çözüm üretmişti... ancak çözüm binlerce basamaktan oluşuyordu. İnsan programcılar, değerlendirme işlemlerindeki basamak sayısını en aza indirmeyi unuttu.

Scott Drave'in Elektrik Koyun projesi sanat icra eden bir genetik algoritma. Değerlendirme işlemi açık kaynaklı bir işbirliği içinde binlerce insan değerlendirici tarafından yapılıyor. Sanat zaman kanalıyla ilerliyor, bu projeyi electricsheep.org adresinde inceleyebilirsiniz.

Konuşma tanıma için genetik algoritmaların kombinasyonu ve gizli Markov modelleri son derece iyi bir iş çıkardı. Evrimi bir genetik algoritmayla simüle etmek hiyerarşik gizli Markov modelleri ağının performansını özünde geliştirebildi. Evrimin ortaya çıkardığı şey, sezgilerimizi temel alan özgün tasarımın çok ötesindeydi.

Daha sonra bütün sistemde bir dizi küçük değişiklikler uygulamaya başlayarak deney yaptık. Örneğin, girdiye perturbasyon (küçük rastgele değişiklikler) yaptık. Buna benzer bir diğer değişiklik de bir Markov modelinin "yakında" olan modelleri etkilemesine sebep olarak bitişik Markov modelle-

(*) Kitap istif sorunu (*book-stacking problem*) yere düşmeyecek şekilde özdeş kitapların masanın ucundan dışına doğru maksimum ne kadar uzanabileceğini sorar. Matematiksel olarak maksimum uzanma, kitap sayısının harmonik seri toplamının yarısı kadar olur – ç.n.

rinin birbiri içine "sızması" idi. Zamanında bunları fark etmemiş olsak da deneylerde yaptığımız ayarlamalar biyolojik kortikal yapılarda gerçekleşen modifikasyon türlerine çok benzerdi.

İlk başta bu değişimler (tanımanın doğruluğu üzerinden ölçüldüğü için) performansı zedeledi. Ancak evrime bu değişimlerle birlikte yeniden başladığımızda (yani genetik algoritmayı yeniden çalıştırdığımızda) algoritma sisteme gerektiği gibi uyum sağlıyor, yeni gelen modifikasyonlara göre tanımayı en uygun hâle getiriyordu. Daha sonra yeni oluşan değişiklikleri kaldırırsak performans yine düşüyor çünkü sistem değişiklikleri dengelemek için evrimleşiyordu. Değişikliklere uyum sağlamış olan sistem değişikliklere bağlı hâle geliyordu.

Aslında (genetik algoritmayı tekrar çalıştırdıktan sonra) performansa yardımcı olan bir değişim türü, girdiyi küçük rastgele değişimlerle tanıştırmaktı. Buna sebep olan şey kendini düzenleyen sistemlerde iyi bilinen "aşırı uyum gösterme" sorunuydu. Böyle bir sistemin alıştırma örneklerini aşırı genelleştirecek olması gibi bir tehlike var. Girdiye rastgele ayarlamalar yapıldığında girdideki daha değişmez şekiller hayatta kalıyor ve sistem de bu şekilde bu derin şekilleri öğreniyor. Bu durum sadece genetik algoritmaları rastgele dağıtım özelliği açıkken yeniden başlattığımızda yardımcı oldu.

Bu durum biyolojik kortikal devreleri anlamaya çalışırken bir ikilem oluşturuyor. Örneğin, biyolojik bağlantıların kuruluş şekilleri sebebiyle, gerçekten, bir kortikal bağlantıdan diğerine küçük miktarda sızıntı olabileceği fark edildi: aksonların ve dendritlerin elektromanyetik dünyası görünüşe bakılırsa yakınlardaki bağlantıların elektromanyetizmasından etkileniyor. Gerçek bir beyinde bu özelliği kaldırdığımız bir deney yapabildiğimizi düşünün. Bu yapılması güç fakat imkânsız olmayan bir şey olurdu. Düşünün ki böyle bir deney yaptık ve kortikal devrelerin bu sinirsel sızıntı olmadan daha düşük bir etkinlik seviyesiyle çalıştığını bulduk. O zaman bu olgunun evrim tarafından yapılmış çok akıllı bir tasarım olduğu ve korteksin performans seviyesine ulaşması için oldukça önemli olduğu sonucunu çıkarabiliriz. Böyle bir sonucun kavramsal hiyerarşide yukarı doğru olan şekil akışının düzenli modelini ve tahminlerin aşağı doğru akışının gerçekte çok daha karmaşık olduğunu çünkü bağlantıların birbirleri üzerinde çapraşık etkileri olduğunu gösterdiğine dikkat çekebiliriz.

Ancak bu kesin bir sonuç olmak zorunda değildi. Hiyerarşik gizli Markov modellerini temel alan simüle edilmiş korteks deneyimimizi düşünün, burada sinirler arası çapraz iletişime çok benzeyen bir modifikasyon uyguladık.

Eğer bu olgunun olduğu yerde evrimi başlatırsak performans eski hâline getirilmiş olurdu (çünkü evrimsel süreç buna uyum sağladı). Eğer sonradan çapraz iletişimi kaldırırsak performans yine riske atılmış olur. Biyolojik durumda evrim (yani biyolojik evrim) gerçekten bu olgu yerindeyken "başlatıldı." Sistemin ayrıntılı parametreleri böylece bu faktörlere bağlı olacak şekilde biyolojik evrim tarafından ayarlandı, dolayısıyla eğer evrimi yeniden başlatmazsak bu parametreleri değiştirmek performansı olumsuz şekilde etkileyecektir. Böyle yapmak evrimin simüle edilen dünyada sadece günler ya da haftalar aldığı alanda uygulanabilir fakat biyolojik dünyada bu on binlerce yıl gerektirirdi.

O zaman biyolojik neokorteksteki belirli bir tasarım özelliğinin biyolojik evrim tarafından tanıtılmış yaşamsal bir yenilik olduğunu, yani zekâ seviyemiz için yararlı olduğunu, ya da sistem tasarımının şu anda bağlı olduğu fakat olmadan da evrimleşmiş olabileceği bir yapı olduğunu nasıl söyleyebiliriz? Bu soruya basit bir şekilde, simüle edilen evrimi tasarım detaylarında bu belirli varyasyonlar varken ve onlar olmadan çalıştırarak (örneğin, çapraz iletişim bağlantısı varken ve yokken) cevap verebiliriz. Hatta eğer nesillerin saatler içinde karşılaştırıldığı mikroorganizma kolonisini inceliyorsak bunu biyolojik evrim ile de yapabiliriz fakat insanlar gibi karmaşık organizmaları incelerken biyolojik evrimi kullanmak pratik olmaz. Bu durum biyolojinin birçok dezavantajından biridir.

Konuşma tanıma işimize geri dönecek olursak, evrimi (yani genetik algoritmaları) fonemlerin iç yapılarını modellediğimiz (1) hiyerarşik gizli Markov modellerini ve sözcüklerle sözcük öbeklerinin yapısını modelleyen (2) hiyerarşik gizli Markov modellerini başlangıç tasarımında *ayrı şekilde* çalıştırdığımızda daha da iyi sonuçlar aldık. Sistemin iki basamağı da aynı HHMM'leri kullanıyordu fakat genetik algoritmalar farklı basamaklarda farklı tasarım çeşitlilikleri evrimleştiriyordu. Bu yaklaşım olgunun iki basamakta gerçekleşen modellemesine mesela belirli sözcükleri yan yana dizdiğimizde oluşan fonem lekelenmesine izin veriyordu (örneğin "Ne yapıyorsunuz?", "Napıyosunuz" hâline gelebilir).

Benzer bir olayın farklı biyolojik kortikal bölgelerde oluşması muhtemel, uğraştıkları şekil türleri temel alındığında küçük değişiklikler evrimleştirmişlerdir. Bunun yanı sıra tüm bu bölgeler aynı temel neokortikal algoritmayı kullanır, biyolojik evrimin her bir bölgenin tasarımı uğraşılan şekiller için en uygun noktaya gelsin diye ayarlama yapmaya yeterince zamanı oldu. Bununla birlikte daha önce bahsettiğim gibi sinirbilimciler ve nörologlar bu bölgelerde önemli boyutta plastisite olduğunu fark ettiler ki bu da genel neo-

kortikal algoritma fikrini destekliyor. Eğer her bölgedeki temel yöntemler tamamen birbirinden farklı olsaydı, kortikal bölgeler arasında var olan değişebilirlik mümkün olmazdı.

Araştırmamızda kendini düzenleyen yöntemlerin kombinasyonunu kullanarak yarattığımız sistemler başarılıydı. Bu sistemler, konuşma tanımada ilk kez kesintisiz konuşma ile görece sınırsız sözcük dağarcığını ele alabildiler. Çok çeşitli konuşmacılar, aksanlar ve diyalektler üzerinde yüksek bir doğruluk oranı elde edebildik. Bu kitap yazılırken teknolojinin bugünkü durumu PC için Nuance'dan (önceki Kurzweil Computer Products) çıkan Dragon Naturally Speaking (Versiyon 11.5) adlı ürün tarafından temsil ediliyor. Çağdaş konuşma tanıma sistemlerinin performansından –kesinlik oranı genellikle % 99, hatta birkaç dakika sistemi kesintisiz konuşma ve görece sınırsız sözcük dağarcığı ile eğittikten sonra daha da yüksek– şüphe edenlere bu ürünü denemelerini tavsiye ederim. Dragon Dictation ses eğitimine ihtiyaç duymayan daha basit fakat yine de etkileyici bir ücretsiz iPhone uygulaması. Şimdiki Apple iPhone'larda bulunan kişisel yardımcı Siri, doğal dili daha iyi anlamak için eklenen uzantılarla birlikte aynı konuşma tanıma teknolojisini kullanıyor.

Bu sistemlerin performansı matematiğin gücü için bir kanıt niteliğindedir. Onlarla aslında konuşmacının neokorteksinde ne olduğunu, bu kişinin beynine direkt ulaşma imkânımız olmasa da, kişinin ne söylediğini tanıyor ve Siri gibi sistemlerde olduğu gibi bu söyleyişlerin ne anlama geldiğini hesaplıyoruz. Eğer konuşmacının neokorteksine gerçekten bakacak olsaydık, yazılım tarafından hesaplanmış olan hiyerarşik gizli Markov modellerine karşılık gelen bağlantıları ve ağırlıkları görür müydük acaba diye merak edebiliriz. Kuşkusuz, kesin bir denklik bulamazdık; sinirsel yapılar bilgisayardaki modellerle karşılaştırıldığında çoğu detayda değişiklik gösterir. Bununla birlikte, gerçek biyoloji ile bizim bu biyolojiyi taklit etme girişimimiz arasında yüksek bir kesinlik değerine sahip matematiksel bir eşitlik bulunması gerektiğini savunuyorum; aksi takdirde, bu sistemler bu kadar iyi çalışamazlardı.

LISP

LISP (LISt Processor)* başlangıçta bir yapay zekâ öncüsü olan John McCarthy (1927-2011) tarafından 1958'de belirlenen bir bilgisayar dilidir. Adından anlaşıldığı gibi LISP listelerle ilgilenir. Her LISP cümlesi unsurlar listesidir; her unsur ya başka bir listedir ya da bir sayıyı veya sembolü oluşturan ve par-

(*) LISP: Liste İşlemcisi – ç.n.

çalanamayan "atom"dur. Bir listenin içeriğinde olan listenin kendisi de listeden oluşabilir, bu sebeple LISP tekrarlayabilen bir dildir. LISP cümlelerinin tekrarlanabildiğini gösteren bir başka yol da listeleri oluşturan listelerin asıl liste belirlenene kadar devamlılık göstermesidir. Listeler, listeleri içerebildiği için LISP de hiyerarşik işleme yapabilir. Bir liste koşullu olabilir yani o liste yalnızca unsurları sağlanıyorsa "ateşler". Bu şekilde, bu tarz koşullu cümleler bir şeklin giderek soyutlaşan özelliklerini belirlemek için kullanılabilir.

LISP yapay zekâ camiasında 1970'lerde ve 1980'lerin başında çok rağbet gördü. Bir önceki on yılda LISP hayranlarının gururlanmasının sebebi dilin insan beyninin çalışma yoluna ayna tutmuş olmasıydı – yani herhangi bir akıl süreci en basit ve en etkili şekilde LISP'te kodlanabiliyordu. Daha sonra LISP tercümanlığı ya da LISP ürünleri öneren "yapay zekâ" şirketlerinde küçük fakat keskin bir artış oldu fakat 1980'lerin ortalarında LISP'in tek başına akıl süreçleri yaratmak için bir kısa yol olmadığı görülünce yatırım balonu çöktü.

Sonunda anlaşıldı ki LISP hayranları tamamen yanlış değilmiş. Temelde, her neokorteksteki her şekil tanıyıcı bir LISP cümlesi olarak görülebilir – her şekil tanıyıcı bir liste unsur içerir ve her unsur bir başka liste olabilir. Dolayısıyla neokorteks aslında LISP programında gerçekleşene çok benzer şekilde sembolik doğanın liste işlemesiyle haşır neşir olur. Dahası, 300 milyon LISP'e benzer "cümleyi" eş zamanlı işler.

Bununla birlikte, LISP dünyasında eksik olan iki önemli özellik vardı ki bunlardan biri öğrenme idi. LISP programları satır satır insan kodcular tarafından kodlanmalıydı. LISP programlarını çeşitli yöntemler kullanarak otomatik bir şekilde kodlamak için girişimler oldu fakat bunlar dil kavramının dahili bir parçası değildi. Neokorteks, aksine, kendini programlar, "cümlelerini" (yani listelerini) kendi deneyimlerinden ve kendi geribildirim döngülerinden elde ettiği anlamlı ve işlemeye uygun bilgilerle doldurur. Bu neokorteksin nasıl çalıştığına dair önemli bir ilkedir: şekil tanıyıcıların her biri (yani her bir LISP'e benzer cümle) kendi listesini doldurabilir ve kendini hem yukarıdaki hem aşağıdaki diğer listelere bağlayabilir. İkinci farklılık boyut parametreleridir. Bir kişi bu parametreleri ele almak için LISP'in farklı bir biçimini (LISP'te kodlanmış) yaratabilir fakat bunlar temel dilin bir parçası değildir.

LISP yapay zekâ alanındaki başlangıç felsefesiyle yani sorunlara akıllı çözümler bulmak ve bunları direkt olarak bilgisayar dilleriyle kodlamak ile tutarlıdır. Kendine deneyimlerinden öğreten –sinir ağları– kendini düzenleyen yöntemlere ilk girişim başarılı olmadı çünkü öğrenmeye cevap olarak sistemin topolojisi üzerinde değişiklik yapma yolu sağlamadı. Hiyerarşik gizli

Markov modeli etkili bir şekilde bunu budama mekanizmasıyla sağladı. Bugün, HHMM ve matematiksel akrabaları yapay zekâ dünyasının büyük bir kısmını oluşturuyor.

Neokorteksin liste yapısı ve LISP benzerliği gözleminin sonucu beynin bizim anlamamız için fazla karmaşık olduğu konusunda ısrar edenlere karşı kurulan bir argümandır. Bu eleştirmenler beynin trilyonlarca bağlantısı olduğunu ve her birinin tasarım sebebiyle özellikle orada bulunması gerektiğinden bu bağlantıların kendilerine eş trilyonlarca satır kodu oluşturduğuna dikkat çekiyor. Daha önce bahsettiğimiz gibi, neokortekste 300 milyon seviyesinde şekil işlemcisi olduğu varsayımında bulunmuştum – ya da listedeki her unsurun bir başka listeye (ya da, en düşük kavramsal basamakta, neokorteksin dışından daha basite indirgenebilen bir şekle) işaret ettiği 300 milyon liste varsayımında da bulunabiliriz. Ancak, 300 milyon hâlâ mantık çerçevesinde LISP cümleleri için büyük bir sayı ve gerçekte var olan, insan eliyle yazılmış herhangi bir programdan daha büyük bir sayı.

Bununla beraber, bu listelerin aslında sinir sisteminin başlangıç tasarımı tarafından belirlenmediğini aklımızda tutmalıyız. Beyin bu listeleri kendi içinde yaratır ve basamakları kendi deneyimleri sayesinde bağlar. Bu neokorteksin temel sırrıdır. Kendini düzenlemeyi başaran bu süreçler neokorteksin kapasitesini oluşturan 300 milyon cümleden çok daha basittir. Bu süreçler genomda belirlenmiştir. On Birinci Bölüm'de göstereceğim gibi, genomdaki özgün bilginin miktarı (kayıpsız sıkıştırmadan sonra) beyne uygulandığı kadarıyla 25 milyon bayttır ki bu da bir milyon satır koddan daha azına eştir. Genetik bilginin 25 milyon baytının çoğu nöronların biyolojik ihtiyaçlarına ayrılmışken ve özellikle bilgi işleme kapasitelerine mahsus değilken gerçek algoritmik karmaşa bundan daha da azdır. Bununla birlikte, 25 milyon baytlık tasarım bilgisi bizim üstesinden gelebileceğimiz bir karmaşıklık seviyesidir.

HİYERARŞİK HAFIZA SİSTEMLERİ

Üçüncü Bölüm'de açıkladığım gibi, Jeff Hawkins ve Dileep George 2003 ve 2004'te, hiyerarşik listeleri kapsayan bir neokorteks modeli geliştirdiler, bu model Hawkins ve Blakelee'nin 2004'te çıkan kitabı *On Intelligence*'da tarif edildi. Hiyerarşik geçici hafıza yönteminin daha güncel ve zarif sunumu Dileep George'un 2008 tarihli doktora tezinde bulunabilir.[12] Numenta bu yöntemi NuPIC (Numenta Platform for Intelligent Computing*) adı verilen bir sis-

(*) Numenta Akıl Hesaplama Platformu – ç.n.

teme uyguladı ve Forbes, Power Analytics Corporation gibi müşteriler için şekil tanıma ve veri toplama sistemleri geliştirdi. Numenta'da çalıştıktan sonra George Vicarious Systems adı verilen ve Founder Fund'dan (Facebook'un arkasındaki girişim sermayedarı Peter Thiel ve Facebook'un ilk genel müdürü Sean Parker tarafından yönetilen) ve Facebook'un kurucularından Dustin Moskovitz'in yönettiği Good Ventures'dan fon alan yeni bir şirket kurdu. George otomatik modelleme, öğrenme ve önemli sayıda hiyerarşiden bilgi tanıma konularında ciddi ilerleme kaydetti. George bu sisteme "tekrarlı kortikal ağ" adını veriyor ve diğer alanlarla birlikte medikal görüntüleme ile robotbilime bu sistemi uygulamayı planlıyor. Hiyerarşik gizli Markov modellerinin tekniği matematiksel olarak bu hiyerarşik hafıza sistemlerine oldukça benziyor, özellikle HHMM sisteminin şekil tanıma modülleri arasından kendi bağlantılarını düzenlemesine izin verirsek. Daha önce bahsedildiği gibi HHMM'ler önemli bir ek elementi sağlıyor ki bu element her girdinin tahmini büyüklük (herhangi bir süreklilikte) dağılımını, düşünülen şeklin var olma olasılığını hesaplarken modellemektir. Yakın zamanda Patterns Inc. adı verilen yeni bir şirket kurdum, bu firmanın amacı doğal dili anlamak için HHMM'leri kullanan, kendini düzenleyen hiyerarşik neokortikal modeller geliştirmektir. Önemli bir vurgu, bir sistemin kendi hiyerarşilerini biyolojik neokortekse benzer bir yolla tasarlaması üzerine olacak. Planlanmış sistemimiz geniş çapta materyali örneğin Vikipedi ve diğer bilgi kaynaklarını sürekli olarak okurken söylediğiniz her şeyi dinleyecek ve yazdığınız her şeyi –eğer izin verirseniz– izleyecek. Bunun amacı, siz daha sorularınızı oluşturmadan *önce*, sorularınızı cevaplayan ve size gün boyunca yararlı bilgiler ile ipuçları veren yardımsever bir arkadaşa dönüşmesidir.

YAPAY ZEKÂNIN HAREKETLİ SINIRI: YETERLİLİK HİYERARŞİSİNİ TIRMANMAK

1. Köpüklü turta sosunun ulaştırdığı uzun yorucu konuşma.
2. Çocukların giydiği bir kıyafet, muhtemelen teatral bir gemideyken.
3. On iki yıllık suç âleminde Kral Hrothgar'ın savaşçılarını yediği için aranıyor, davaya memur Beowulf atandı.
4. Yavaşça zihinde gelişen ya da hamilelik boyunca taşınan şey anlamına gelebilir.
5. Ulusal Öğretmenler Günü ve Kentucky Derbi Günü.

6. Wordsworth uçtuklarını fakat aylak gezinmediklerini söyledi.
7. Atın toynağına demir yerleştirme ya da kumarhanede kâğıt dağıtma kutusu anlamına gelen dört harfli sözcük.
8. 1846 tarihli Verdi operasının üçüncü sahnesinde, sevgilisi Odabella yüzünden tanrının cezasına çarptırıldı.
   – WATSON'ın doğru cevapladığı Jeopardy! sorularından örnekler. Cevaplar: meringue harangue, bebek önlüğü, Grendel, gebe kalmak, mayıs, tarlakuşu, ayakkabı. Sekizinci soruda Watson "Attila nedir?" diye cevap verdi. Sunucu "Biraz daha kesin olur musun?" diye cevapladı. Watson da "Attila Han nedir?" diye cevap verdi ki bu da doğru cevap.

Jeopardy ipuçlarını çözmek için bilgisayarın kullandığı teknikler benimkiler gibiydi. Makine bir ipucundaki anahtar kelimeleri sıfırlıyor daha sonra hafızasını bu sözcüklerin çağrışım yığınını tarıyor (Watson için bu 15 terabaytlık insan bilgi bankası). Dikkatli bir şekilde en tepede bulduklarını toplayabildiği tüm kavramsal bilgiye karşı kontrol ediyor: kategori ismi, aranan cevap türü, zaman, mekân, ipucunda gizlenen cinsiyet vb. Ne zaman yeterince "emin" olursa sinyal vermeye karar veriyor. Bunların tamamı bir anlık, insan *Jeopardy* oyuncusu için sezgisel bir süreç fakat beynimin örtüsü altında aşağı yukarı aynı şeyi yapıyor olduğuna ikna oldum.

– KEN JENNINGS, Watson'a yenilen insan *Jeopardy* şampiyonu

Ben, biri için, yeni robot lordumuzu selamlıyorum.

– KEN JENNINGS, Watson'a yenildikten sonra
The Simpsons'ı yorumlarken

Aman tanrım. [Watson] *Jeopardy* sorularına cevap verirken ortalama bir *Jeopardy* oyuncusundan daha zeki. Bu etkileyici bir zekâ.

– SEBASTIAN THRUN, Stanford Yapay Zekâ
Laboratuvarı'nın eski direktörü

Watson hiçbir şeyi anlamıyor. O büyük ezici bir güç.

– NOAM CHOMSKY

Yapay zekâ her yanımızı sardı – artık fişi elimizde tutmuyoruz. Bir kişiyle kısa mesaj, e-posta ya da cep telefonu yoluyla bağlantı kurmak gibi basit hareketler yaparken bilgiyi naklederken akıllı algoritmalar kullanılıyor. Neredey-

se dokunduğumuz her ürün aslen insan ve yapay zekânın birlikte çalışmasıyla tasarlandı ve sonra otomatikleştirilmiş fabrikalarda üretildi. Tüm yapay zekâ ürünleri yarın grev yapmaya karar verseydi medeniyetimizin eli ayağı tutmazdı: bankalardan para çekemezdik hatta paramız kaybolurdu; iletişim, ulaşım ve imalat durma noktasına gelirdi. Neyse ki akıllı makinelerimiz henüz böyle bir komplo kuracak kadar zeki değil.

Yapay zekâda bugün yeni olan şey, mevcut örneklerin duygusal olarak alenen etkileyici doğasıdır. Örneğin, Google'ın kendi kendine giden arabalarını düşünün (ki bu yazı yazılırken şehirlerde ve kasabalarda 200.000 milden fazla yol kat etti), bu ciddi şekilde kazaları azaltacak, yolların kapasitesini artıracak, insanlar için bir angarya olan araba sürme gerekliliğini azaltacak ve daha birçok yarar sağlayacak. Halk tarafından yaygın kullanım, bu on yılın sonuna kadar beklenmiyor olsa da sürücüsüz araçların, bazı kısıtlamalarla birlikte, şimdiden Nevada'nın umumi yollarında kullanılması yasal. Zeki bir şekilde yolu izleyen ve sürücüyü yaklaşan tehlikelere karşı uyaran teknolojiler şimdiden araçlara yüklendi. Bu teknolojilerden biri MIT'den Tomaso Poggio tarafından yaratıldı ve kısmen beyindeki görsel işlemeyi temel alıyor. MobilEye adı verilen bu teknoloji Poggio'nun daha önce doktora sonrası öğrencisi olan Amnon Shashua tarafından geliştirildi. MobilEye sürücüyü yaklaşan bir çarpışma ya da arabanın önünden geçen bir çocuk gibi tehlikelere karşı uyarabiliyor ve yenilerde Volvo ve BMW gibi imalatçıların arabalarına yüklendi.

Kitabın bu bölümünde farklı sebepler yüzünden dil teknolojilerine odaklanacağım. Beklendiği üzere, dilin hiyerarşik doğası yakın bir şekilde düşünmemizin hiyerarşik doğasını yansıtıyor. Konuşma dili bizim ilk teknolojimizdi, ikinci teknolojimiz de yazılı dildir. Yapay zekâ alanında yaptığım işler, bu bölümde gösterildiği gibi, çoğunlukla dil üzerine odaklandı. En nihayetinde, güçlü, artırılabilen bir beceriyle dilde uzmanlaştı. Watson internette şimdiden yüz milyonlarca sayfa okudu ve bu belgelerde var olan bilgide uzmanlaştı. Sonuçta makineler internetteki bilgide uzmanlaşabilecek ki bu da insan-makine medeniyetinin özünde tüm bilgisi anlamına geliyor.

İngiliz matematikçi Alan Turing (1912-1954) adını verdiği testi bir bilgisayarın kısa mesaj kullanarak doğal dilde sohbet etme yeteneğine temellendirdi.[13] Turing insan zekâsının tamamının dilde şekillendiğini ve temsil edildiğini hissetti ve hiçbir makine basit dil oyunları sayesinde Turing testini geçemezdi. Turing testi yazılı dili içeren bir oyun olsa da bir bilgisayarın bu testi geçebilmesinin tek yolu Turing'e göre bilgisayarın gerçekten insan seviyesine eş bir zekâya sahip olmasıydı. Eleştirmenler, insan zekâ seviyesini ölçen doğru

bir testin uzman seviyede görsel ve işitsel bilgiyi de içermesi gerektiğini öne sürdü.[14] Yapay zekâ projelerimin çoğu bilgisayarlara insan konuşması, harf biçimi ve müziksel sesler gibi bu tarz duyusal bilgiyi öğretmeyi içerdiğinden bu bilgi formlarının doğru bir zekâ testi tarafından kapsanmasını desteklemem beklenirdi. Ancak Turing'in başlangıçtaki, sadece yazılı Turing testi versiyonunun yeterli olduğu içgörüsüne katılıyorum. Teste görsel ya da işitsel girdi veya çıktı eklemek onu geçilmesi daha zor bir test hâline getirmeyecekti.

Bir kişinin Watson'ın *Jeopardy!* karşısındaki performansından etkilenmemesi için bu kişinin bir yapay zekâ uzmanı olması gerekmiyor. Birtakım önemli parçalarında kullanılan metodolojiye ilişkin orta derecede bir anlayışım olsa da bu durum, onun performansını izlerken oluşan duygusal tepkimi azaltmıyor. Watson'ı oluşturan tüm parçaların sistemlerinin nasıl çalıştığını mükemmel bir şekilde anlamak bile –ki hiç kimse anlamıyor– Watson'ın verilen bir duruma karşı gerçekten nasıl tepki vereceğini tahmin etmenize yardımcı olmazdı. Watson birbiriyle etkileşen yüzlerce alt sistemi içeriyor ve bunların her biri aynı anda milyonlarca hipotezle mücadele ediyor, dolayısıyla sonucu tahmin etmek imkânsız. Kapsamlı bir analiz yapmak Watson'ın yalnız üç saniyelik sorgu için düşünüp taşınması –gerçeğinden sonra– insanın aynı sorguyu yapması yüzyıllar alırdı.

Kendi hikâyeme devam edecek olursam, 1980'lerin sonunda ve 1990'larda kısıtlı bilgi alanlarında doğal dili anlama üzerine çalışmaya başladık. Kurzweil Voice adındaki bir ürününüzle, belgeyi düzenlemekle ilgili olduğu sürece istediğiniz herhangi bir şey hakkında konuşabilirdiniz. (Örneğin, "Önceki sayfadaki üçüncü paragrafı buraya taşı.") Bu kısıtlı fakat yararlı bilgi alanında bu işlem gayet iyi çalıştı. Medikal bilgi alanında, doktorların hasta raporlarını yazdırabileceği sistemler de yarattık. Bu sistemler, radyoloji ve patoloji gibi alanlarda yeterli bilgiye sahipti ve raporda anlaşılmayan bir şey olduğunda doktora soru sorabiliyor ve doktora raporlama sürecinde yol gösteriyordu. Bu medikal raporlama sistemleri Nuance'da milyar dolarlık işler hâline evrildi.

Doğal dili anlamak, özellikle otomatik konuşma tanımanın bir uzantısı olarak, ana akıma girdi. Ben bu kitabı yazarken iPhone 4S'teki otomatik kişisel asistan Siri mobil programlama dünyasında bir çalkantı yarattı. Siri'ye onurlu bir akıllı telefonun yapabildiği neredeyse her şeyi sorabilirsiniz (örneğin, "Buralarda nereden Hint yemeği alabilirim?" ya da "Eşime yolda olduğumu ileten bir mesaj yaz" ya da "İnsanlar yeni Brad Pitt filmiyle ilgili ne düşünüyor?"), çoğu zaman Siri itaat edecektir. Siri az miktarda verimsiz gevezeyi de

eğlendirecektir. Eğer ona yaşamın anlamının ne olduğunu sorarsanız size "42" cevabını verecektir ki *Otostopçunun Galaksi Rehberi* hayranlarının tanıyacağı gibi bu "yaşamın, evrenin ve her şeyin nihai sorusunun cevabıdır." Bilgi soruları (yaşamın anlamı nedir sorusu dahil) sayfa 145'te tarif edilen Wolfram Alpha tarafından cevaplandı. Hiçbir şey yapmayıp sadece sohbet eden bir "chatbot*" dünyası var. Bizim chatbot'umuzla, Ramona'yla konuşmak isterseniz kurzweilai.net adresine gidin ve "Ramona ile konuş" butonuna tıklayın.

Bazı insanlar Siri'nin belirli sorulara cevap vermede başarısız olmasıyla ilgili bana şikâyette bulunmuştu, ancak bu insanlar genellikle insan servis sağlayıcılarından da şikâyet eden kişilerdi. Bazen Siri'yi birlikte denemeyi öneriyorum ve genellikle tahmin ettiklerinden daha iyi işliyor. Bu şikâyetler bana satranç oynayan köpeğin hikâyesini hatırlatıyor. Soru soran kuşkulu birine köpeğin sahibi "Evet, doğru, satranç oynuyor fakat oyun sonu performansı zayıf," diye cevap veriyor. Etkili rakipler ortaya çıkıyor, örneğin Google Sesli Arama.

Halkın geneli artık doğal konuşma dilinde elde taşınabilir bilgisayarlarıyla konuşuyor ki bu da yeni bir çağı işaretliyor. İnsanların sınırlı oluşlarından dolayı ilk nesil teknolojilerin önemini gözardı etmesi tipik bir hareket. Birkaç yıl sonra teknoloji gerçekten iyi çalıştığında insanlar hâlâ önemini gözardı ediyor çünkü artık bu teknoloji yeni değil. Bununla beraber, Siri ilk nesil ürün için etkileyici bir şekilde çalışıyor ve bu kategorideki ürünlerin sadece daha iyi olacağı aşikâr.

Siri Nuance'ın çıkarmış olduğu gizli Markov Modeli'ni temel alan konuşma tanıma teknolojileri kullanıyor. Doğal dil uzantıları ilk olarak DARPA'nın fon sağladığı "CALO" projesi tarafından geliştirildi.[15] Siri Nuance'ın kendi doğal dil teknolojileriyle geliştirildi ve Nuance Dragon Go! adında buna çok benzer bir teknoloji sunuyor.[16]

Doğal dili anlamak için kullanılan yöntemler hiyerarşik gizli Markov modellerine çok benziyor ve aslında hiyerarşik gizli Markov modelinin kendisi de yaygın şekilde kullanılıyor. Bunun yanı sıra, bu sistemlerin bazıları özel olarak gizli Markov modeli ya da hiyerarşik gizli Markov modeli kullanılarak etiketlenmedi, kullanılan matematik neredeyse aynı. Hepsi her elementin ağırlığının olduğu, doğrusal dizilim hiyerarşisi ile kendi kendine uyum sağlayan bağlantılar içeriyor ve bütün sistem öğrenilen veriye göre kendini düzenliyor. Genellikle öğrenme, sistemin güncel kullanımı süresince devam

(*) Chatbot: İnsan kullanıcılarla sohbet etmek için tasarlanmış bilgisayar programı – ç.n.

ediyor. Bu yaklaşım doğal dilin hiyerarşik yapısıyla eşleşiyor – bu sadece kavramsal merdivende konuşmanın parçalarından, sözcüklere, sözcük öbeklerine, semantik yapılara doğru yukarı çıkan doğal bir uzantıdır. Bu sınıftaki hiyerarşik öğrenme sistemlerinin kesin öğrenme algoritmasını kontrol eden parametreler üzerinde genetik algoritma çalıştırmak ve en uygun algoritmik detayları belirlemek mantıklı olurdu.

Son on yıldır bu hiyerarşik yapıların yaratılma yolunda bir kayma oldu. 1984'te Douglas Lenat (1950 doğumlu) tutkulu Cyc (enCYClopedic) projesini başlattı ki proje gündelik "sağduyu" bilgisini kodlayacak kurallar yaratmayı amaçlıyor. Kurallar devasa bir hiyerarşi içinde düzenlendi ve her kural –yine– doğrusal evre dizilimleri içeriyordu. Örneğin, bir Cyc kuralı, bir köpeğin yüzü olduğunu belirtebilir. Cyc daha sonra yüzlerin yapısı hakkında genel kurallara bağlanır: bir yüzde iki göz, bir burun ve bir ağız vb. bulunur. Bir köpeğin yüzü için bir grup ve bir kedinin yüzü için başka bir grup kural bulundurmamıza gerek yok fakat tabii ki köpeklerin yüzünün kedilerinkinden farklılaştığı noktalar için ek kurallar koymak isteyebiliriz. Sistem ayrıca bir çıkarım motoru da içeriyor: Eğer cocker spaniel'in bir köpek olduğunu, köpeklerin hayvan olduğunu ve hayvanların yemek yediğini belirten kurallarımız varsa ve çıkarım motoruna cocker spaniel'in yemek yiyip yemediğini sormak istersek sistem, "evet, cocker spaniel yemek yer" cevabını verecektir. Sonraki yirmi yıl ve binlerce insan yılı alan çaba boyunca buna benzer binlerce kural yazıldı ve test edildi. İlginç şekilde Cyc kurallarını yazma dili –adı CycL– LISP ile neredeyse aynı.

Bu arada, buna karşı oluşan bir düşünce okulu, doğal dil anlayışına en iyi yaklaşımın ve genel anlamda akıllı sistem yaratmanın, sistemin uzmanlaşmaya çalıştığı çok sayıda olgu örneğine maruz kalarak otomatik öğrenmesi sayesinde olduğuna inandılar. Bu tarz bir sistemin güçlü bir örneği elli dile ve elli dilden çeviri yapabilen Google Çeviri'dir. Çoğu dil çifti için Dil 1'den direkt Dil 2'ye çeviri değil de Dil 1'den İngilizceye ve sonra İngilizceden Dil 2'ye çeviri şeklinde olsa da Google Çeviri'nin 2.500 farklı çeviri yönü var. Bu durum Google'ın ihtiyaç duyduğu çevirmen sayısını doksan sekize düşürüyor (artı direkt çevirinin olduğu, İngilizce çifti gerektirmeyen sınırlı sayıdaki dil çiftleri). Google çevirmenleri dilbilgisi kuralları kullanmaz; bunun yerine yaygın çevirisi olan her dil çifti için geniş "Rosetta Stone" külliyatının iki dil arasında çevrilmiş belgelerini temel alır. Birleşmiş Milletler'in resmi dillerini oluşturan altı dil için Google, altı dilde yayımlanan Birleşmiş Milletler belgelerini kullandı. Daha az yaygın olan diller için başka kaynaklar kullanıldı.

Sonuçlar genellikle etkileyici. DARPA her yıl farklı dil çiftlerinde en iyi otomatik dil çeviri sistemleri için yarışma düzenliyor ve Google Çeviri, direkt olarak insan dilbilimciler tarafından yaratılan sistemleri geçerek, belirli çiftler için genellikle kazanıyor.

Geçtiğimiz on yılda iki önemli içgörü doğal dil anlama alanını derin bir şekilde etkiledi. İlki hiyerarşilerle ilgiliydi. Google yaklaşımı, düz sözcük dizilerini bir dilden diğerine ilişkilendirme ile başladı, dilin doğası gereği hiyerarşik oluşu kaçınılmaz bir şekilde Google'ın işleyişine dolandı. Yöntemsel olarak hiyerarşik öğrenmeyi içeren sistemler (örneğin hiyerarşik gizli Markov modelleri) önemli ölçüde daha iyi performans sağladı. Bununla birlikte, bu gibi sistemlerin inşası pek otomatik olmaz. İnsanların bir kerede yaklaşık bir kavramsal hiyerarşi öğrenmesi gerekirken aynı şey bilgisayarlı sistemler için de geçerlidir, bu yüzden öğrenme sürecinin dikkatli bir şekilde yönetilmesi gerekir.

Diğer içgörü de elde inşa edilen kuralların yaygın temel bilgilerin tümü için iyi işlediğidir. Kısa paragrafların çevirisi için bu yaklaşım genellikle daha kesin sonuçlar sağlar. Örneğin DARPA, kısa paragraflar için, kural temelli Çince-İngilizce çevirmenlerine Google Çeviri'den daha yüksek değer biçti. Çünkü dilin kuyruğu denen ve içinde kullanılan milyonlarca ender sözcük öbeği ve kavrama işaret eden olgu için kural temelli sistemlerin kesinliği kabul edilemeyecek kadar düşük bir değere yaklaşıyor. Eğer doğal dil anlama kesinliğinin analiz edilen eğitici veri miktarına karşı grafiğini çizersek, kural temelli sistemler başlangıçta daha yüksek bir performans sergiler fakat % 70 gibi düşük kesinlik oranlarına geldiğinde performans epeyce düşer. Keskin bir zıtlıkla istatistiki sistemler 90 gibi yüksek değerlere ulaşabilir fakat bunu başarmak için ciddi miktarda veri gerekir.

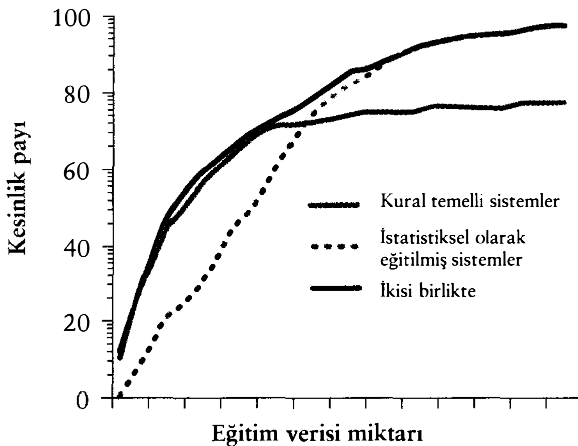
Genellikle, az miktardaki eğitici veriyle orta derece performansın kombinasyonuna ve sonrasında daha yüksek kesinlik oranlarını daha ciddi bir miktarla başarmaya ihtiyaç duyarız. Orta derece bir performansa hızlıca ulaşmak bu alanda bir sistem kurmamızı sağlar ve daha sonra insanlar bu sistemi kullandıkça sistem otomatik olarak alıştırma verisi toplar. Bu şekilde sistem kullanılırken önemli boyutlarda öğrenme gerçekleşir. İstatistiki öğrenme dilin doğasını yansıtmak için tamamen hiyerarşik olmalıdır ki bu insan beyninin nasıl çalıştığını da yansıtır.

Bu yöntem, –en yaygın ve güvenilir olgular için kuralları kullanmak ve sonra gerçek kullanıcıların elinde dilin "kuyruğunu" öğrenme– ayrıca Siri ve Dragon Go!'nun da çalışma şeklidir. Cyc takımı elde kodlanan kuralları temel

alarak performansın doruğuna ulaştıklarını fark ettiklerinde onlar da bu yaklaşımı benimsedi. Elde kodlanan kurallar iki temel işlev sağlar. Bu kurallar yeterli derecede başlangıç kesinliği sunar, bu yüzden bir deneme sistemi yaygın kullanıma sunulabilir ki burada otomatik olarak gelişir. İkinci olarak, bu kurallar, kavramsal hiyerarşinin düşük basamaklarına sağlam bir temel hazırlar ki otomatik öğrenme daha yüksek kavramsal basamaklarda başlayabilsin.

Yukarıda bahsedildiği gibi, Watson elde kodlanan kurallar ile hiyerarşik istatistiki öğrenmeyi birleştiren yaklaşımın özellikle etkileyici bir örneğini temsil eder. IBM önde gelen birkaç doğal dil programını, doğal dil oyunu olan *Jeopardy!*'yi oynayabilen bir sistem yaratmak için birleştirdi. 14-16 Şubat 2011'de Watson önde gelen iki insan oyuncuyla yarıştı: biri Brad Rutter ki Rutter, bu oyunu oynayan kişiler içinde en çok parayı kazandı ve diğeri de Ken Jennings ki Jennings, öncesinde *Jeopardy!* şampiyonluğunu rekor süre olan yetmiş beş gün boyunca elinde tutmuştu.

İçerik gereği, 1980'lerin ortalarında yazılan ilk kitabım *The Age of Intelligent Machines*'te bir bilgisayarın 1998'e kadar satranç şampiyonluğunu elinde tutacağını tahmin etmiştim. Ayrıca bu olduğunda ya insan zekâsıyla ilgili fikrimizin derecesini düşüreceğimizi ya da satrancın önemini azaltacağımızı ve eğer tarih bir rehber ise satrancı daha az önemseyeceğimizi de tahmin etmiştim. Bu tahminlerimin ikisi de 1997'de gerçekleşti. IBM satranç süperbilgisayarı Deep Blue, satranç dünya şampiyonu olan Gerry Kasparov'u mağ-



Doğal dili anlama sistemlerinin, eğitim verisi miktarının fonksiyonu şeklinde verilen doğruluk payı. En iyi yaklaşım dilin "özü" için var olan kuralları birleştirmek ve dilin "kuyruğu" için veri temelli bir yaklaşım geliştirmektir.

lup edişinin dakikasında, bir bilgisayarın satrançta bir insanı yenmesinin beklendiği çünkü bilgisayarların mantık makineleri olduğu ve sonuçta satrancın da mantık oyunu olduğu gibi argümanlarla karşılaştık. Dolayısıyla Deep Blue'nun galibiyeti şaşırtıcı ya da önemli gibi değerlendirilmedi. Eleştirmenlerin çoğu bilgisayarların; metaforlar, mecazlar, cinaslar, çifte anlamlar ve mizah dahil, insan dilinin inceliklerinde asla uzmanlaşamayacağını tartışmaya devam ettiler.

En azından bu, Watson'ın neden böylesine önemli bir dönüm noktası olduğunu açıklayan bir sebep: *Jeopardy!* tam olarak böylesine sofistike ve zorlayıcı bir dil işi. Tipik *Jeopardy!* soruları insan dilinin saçma isteklerini içerir. Çoğu gözlemci için belirgin olmayan şey muhtemelen Watson'ın dilde sadece beklenmedik ya da karmaşık sorularda uzmanlaştığı değil, çoğunlukla bilgisinin elde kodlanmadığıdır. Watson bu bilgiyi gerçekten Vikipedi ya da diğer ansiklopediler dahil 200 milyon sayfa doğal dilde yazılmış belgeyi okuyarak elde etti ki bu, dili temel alan 4 trilyon baytı kapsıyor. Bu kitabı okuyanların farkında olduğu gibi, Vikipedi LISP ya da CycL dillerinde değil, dilin doğasında bulunan anlam belirsizliği ya da karışıklığı içeren doğal cümlelerle yazıldı. Watson bir soruya cevap verirken referans aldığı malzemedeki 4 trilyon karakteri düşünmek durumundaydı. (*Jeopardy!* sorgularının soru arayan cevaplar olduğunun farkındayım fakat bu teknik bir şey, sonuçta bu sorgular gerçekten sorulardır.) Eğer Watson 200 milyon sayfa okumayı gerektiren soruları anlayıp cevap verebiliyorsa –üç saniye içinde!– benzer sistemleri internetteki milyarlarca sayfayı okumaktan alıkoyacak hiçbir şey yok. Aslında bu durum da gerçekleşmek üzere.

1970'lerden 1990'lara kadar karakter ve konuşma tanıma sistemleri ve erken doğal dil anlama sistemleri geliştirirken "uzman yönetici" kapsayan bir metodoloji kullandık. Aynı şeyi yapmak için birçok sistem geliştirebilirdik fakat her birine biraz farklı yaklaşımlar ekleyecektik. Öğrenme algoritmasının matematiğini kontrol eden parametrelerdeki çeşitlilikler gibi bazı farklılıklar hemen göze çarpmıyordu. Bazı çeşitlilikler temel çeşitliliklerdi, örneğin hiyerarşik istatistiki öğrenme yerine kural temelli sistemler eklemek. Uzman yönetici farklı sistemlerin gerçek dünya durumlarındaki performansını inceleyerek güçlerini ve zayıflıklarını öğrenmeye programlanmış başlı başına bir yazılım programıydı. Bu güçlerin dikey olduğu kavramını yani bir sistem zayıfsa diğerinin güçlü olmaya eğilimli olduğunu temel alıyordu. Aslında birleştirilmiş sistemlerin uzman yönetici görevdeyken toplam performansı herhangi bir bireysel sistemden çok daha iyiydi.

Watson da aynı şekilde çalışıyor. UIMA* adlı bir mimar kullanarak Watson gerçekten yüzlerce farklı sistemi görevlendiriyor –Watson'daki bireysel dil birimleri umuma açık doğal dil anlama sistemlerinde kullanılanların aynısı– bu sistemlerin hepsi ya direkt olarak *Jeopardy!* sorgularına ya da başka sorulara bir cevap buluyor ya da sorguyu açıklığa kavuşturmak için girişimde bulunuyor. UIMA temel olarak akıllı bir şekilde birbirinden bağımsız sistemlerin sonuçlarını birleştiren bir uzman yönetici gibi hareket ediyor. UIMA daha önceki sistemlerin ciddi anlamda çok ötesine geçiyor, örneğin Nuance'dan önceki şirketimizde geliştirdiğimiz bireysel sistemleri son bir cevaba ulaşması gerekmeden sonuç üretebilen sistemleri aşıyor. Bir altsistemin çözümü daraltması yeterli. İnsan beyni de bunu yapar – muhtemelen biri annemizin adını sorduğunda verdiğimiz cevaptan oldukça eminizdir fakat bir sene önce ayaküstü tanıştığımız birinin adı sorulduğunda bu kadar emin bir şekilde cevap veremeyiz.

Dolayısıyla, *Jeopardy!*'de doğal olarak var olan dil sorunlarını anlamak için tek ve zarif bir yaklaşım bulmaktansa IBM'de çalışan biliminsanları ulaşabildikleri son teknoloji dil anlama modüllerinin hepsini birleştirdi. Bir dizi güvenilir kuralı kodlamak için bu modüllerin bazıları hiyerarşik gizli Markov Modeli, bazıları HHMM'nin matematiksel çeşitlerini diğerleri ise kural temelli yaklaşımları kullanıyor. UIMA her sistemin günlük kullanımdaykenki performansını değerlendirir ve bunları en uygun şekilde birleştirir. Halka açık tartışmalarda Watson'la ilgili onu yaratan IBM bilimcilerinin genellikle UIMA üzerine, yani kendi yarattıkları uzman yönetici üzerine odaklandıklarına dair bazı yanlış anlaşılmalar var. Bu durum bazı gözlemciler tarafından Watson'ın dil ile ilgili gerçek bir anlayışının olmadığı çünkü bu anlayışın nerede bulunduğunu belirlemenin zor olduğu yorumlarına yol açtı. UIMA sistemi kendi deneyimlerinden de öğreniyor olsa da Watson'ın dil "anlaması" sadece UIMA'da bulunmaz, tüm parçalarına dağılmıştır ki buna kendini düzenleyen HHMM'ye benzer yöntemleri kullanan dil modülleri de dahil.

Watson'ın ayrı bir parçası *Jeopardy!* iddialarını nasıl yerleştireceğini belirlemek için UIMA'nın güvenilir tahminlerini kullanıyor. Watson sistemi özellikle bu oyunu oynamak için optimize edilmişken merkez dil ve bilgi arama teknolojisi kolaylıkla diğer görevlere uyarlanabilir. Pek yaygın şekilde paylaşılmayan profesyonel bilgide uzmanlaşmak, örneğin medikal alandaki bilgide, *Jeopardy!* oynamak için gereken, genel amaçlı "yaygın" bilgide uz-

(*) Unstructured Information Management Architecture: Yapılandırılmamış Bilgi Yönetimi Mimarı – ç.n.

manlaşmaktan daha zor olabilirdi. Aslında, durum bunun tam tersi: Profesyonel bilgi daha yüksek seviyede düzenlenmiş, yapılanmış ve karşıtı olan sağduyudan çok daha belirgin; bu yüzden bu teknikleri kullanarak kesin doğal dil anlayışına oldukça yatkın. Bahsedildiği gibi, IBM şu anda Nuance'la birlikte Watson teknolojisini tıbba uyarlamak için birlikte çalışıyor.

Watson *Jeopardy!* oynarken gelişen konuşma oldukça kısaydı: Bir soru sorulduğunda Watson bir cevapla çıkageldi. (Yine belirtelim, teknik olarak, bir cevaba soru buluyor.) Tüm katılımcıların önceki cevaplarını takip etmeyi gerektiren bir konuşmaya girmiyor. (Siri belirli bir kısıtlamayla bunu yapar: Eğer eşinize mesaj göndermesini isterseniz eşinizi tanımlamanızı ister fakat sonraki istekler için bunu hatırlayacaktır.) Bir konuşmadaki tüm bilgiyi takip etmek –Turing testi geçmek için açık şekilde gerekli olan bir görev– önemli bir eklenti fakat Watson'ın hâlihazırda yaptığı şeyden temel olarak daha zor değil. Sonuçta, Watson yüz milyonlarca sayfalık materyal okudu ki açıkçası bunlar birçok hikâyeyi kapsıyor bu yüzden Watson karmaşık bir dizi olayı takip edebiliyor. Dolayısıyla kendi konuşmalarını izliyor olmalı ve sonradan vereceği cevaplarda bunu hesaba katabilmelidir.

Jeopardy! oyununun bir başka kısıtlaması da cevapların genellikle kısa ve öz olması: Örneğin yarışmacılardan *İki Şehrin Hikâyesi* romanında başta gelen beş temayı tek tek söylemelerini isteyen sorular sormuyor. Bu romanın temalarını tartışan belgeler bulana kadar, Watson'ın değiştirilmiş versiyonu uygun biçimde buna cevap verebilmelidir. Kendi kendine sadece kitabı okuyarak bu temaları bulması ve özellikle diğer düşünürlerin düşüncelerini (sözcükleri bile kullanmadan) kopyalamaması da bir başka mesele. Bunu yapmak Watson'ın bugün yapabildiği seviyedeki şeyden çok daha yüksek –benim Turing test dediğim– seviyede bir görev olurdu. (Bununla birlikte, çoğu insanın da kendi özgün fikirlerini bulmadığını, akranlarının ve düşünce liderlerinin düşüncelerini kopyaladığını belirteceğim.) Herhangi bir hızda, 2029'da değil de 2012'de olduğumuz için Turing testi seviyesinde bir zekâ beklemiyorum. Ancak diğer taraftan bir romandaki ana fikirleri bulmak gibi soruların cevaplarını değerlendirmek başlı başına kolay bir görev değil. Eğer biri Bağımsızlık Bildirgesi'ni kimin imzaladığını sorarsa verilen cevabın doğru ya da yanlış olduğu belirlenebilir. Daha yüksek basamaktaki sorulara verilen cevapların geçerliliği, örneğin yaratıcı bir işin temalarını tanımlamak, daha zor şekilde belirlenir.

Watson'ın dil becerileri aslında eğitimli bir insanınkinden biraz aşağıda olsa da dünyadaki en iyi iki *Jeopardy!* oyuncusunu mağlup edebilmesi

kayda değer. Bunu, dil becerileri ile bilgi anlayışını birleştirirken makinenin sahip olduğu anıları harika bir şekilde hatırlaması ve bu anıların oldukça kesin olması sayesinde başarabilir. Bu sebeple şimdiden kişisel, sosyal ve tarihi anılarımızı bu makinelere devrettik.

Bir bilgisayarın Turing testini 2029'a kadar geçeceği tahminimi yapmaya hazır olmasam da Watson gibi sistemlerde kaydedilen gelişme herkese Turing seviyesinde bir yapay zekânın yakınlarda geleceğinin güvenini vermeli. Eğer biri Watson'ın Turing testi için optimize edilmiş versiyonunu yaratacaksa bu muhtemelen yakın zamanda olacaktır.

Amerikalı filozof John Searle (1932 doğumlu) yakın zamanlarda Watson'ın düşünemediğini söyledi. Searle "Çin odası" düşünme deneyinde (daha sonra On Birinci Bölüm'de açıklayacağım) Watson'ın sadece sembollerle oynadığını ve bu sembolleri anlamadığını ifade ediyor. Aslında Searle Watson'ı tam anlamıyla tarif etmiyor zira Watson'ın dil anlayışı hiyerarşik istatistiki süreçlere bağlı, sembollerle oynamaya değil. Searle'ün tarifinin doğru olmasının tek yolu Watson'ın kendini düzenleyen süreçlerinin her basamağını "sembollerle oynamak" olarak düşünmektir. Ancak durum böyle olsaydı insan beyni de düşünebilen bir organ olarak değerlendirilemezdi.

Gözlemcilerin Watson'ı insanların sahip olduğu doğru dil anlayışına karşılık *sadece* dilin istatistiki analizini yapan bir sistem olduğu için eleştirmesi eğlendirici ve ironik. Hiyerarşik istatistiki analiz tam olarak, birden fazla hipotezi istatistiki çıkarımlar üzerinden (ve gerçekten neokortikal hiyerarşinin her basamağında) çözümlerken insan beyninin yaptığı şeydir. Watson da insan beyni de hiyerarşik anlayışa benzer yaklaşımı temel alarak öğrenir ve yanıt verir. Çoğu açıdan Watson'ın bilgisi bir insanınkinden çok daha geniştir; hiçbir insan Vikipedi'nin tamamında uzmanlaştığını iddia edemez ki bu Watson'ın bilgi temelinin sadece bir kısmıdır. Buna karşılık, bir insan bugün Watson'dan daha çok kavramsal basamakta uzmanlaşır fakat bu tabii ki kalıcı bir boşluk değil.

Programlamanın gücünü gösteren, düzenli bilgiye uygulanan bir önemli sistem de cevap motoru olan (arama motoruna karşılık) İngiliz matematikçi ve biliminsanı Dr. Wolfram (1959 doğumlu) ve Wolfram Research'deki iş arkadaşları Wolfram Alpha'yı geliştirdi. Örneğin, Wolfram Alpha'ya (wolframalpha.com adresinde) "Bir milyonun içinde kaç tane asal sayı vardır?" diye sorarsanız "78.498" diye cevap verecektir. Wolfram Alpha cevaba bakmadı, cevabı hesapladı ve cevabı bulduktan sonra kullandığı denklemleri sağladı. Bu cevabı geleneksel bir arama motoru kullanarak bulmaya

girişseydiniz sizi, gereken algoritmaları bulmanızı sağlayacak bağlantılara yönlendirirdi. Daha sonra bu formülleri yine Dr. Wolfram tarafından geliştirilmiş Mathematica gibi bir sistemin içine yerleştirmeniz gerekirdi fakat besbelli ki bu, basit bir şekilde, Alpha'ya sormaktan çok daha fazla iş (ve anlayış) gerektirirdi.

Aslında, Alpha 15 milyon satır Mathematica kodu içeriyor. Alpha'nın aslında yaptığı, Wolfram Research ekibi tarafından dikkatli bir şekilde seçilip düzenlenen yaklaşık 10 trilyon bitlik veriden cevabı hesaplamaktır. Geniş bir yelpazeden gerçekçi sorular sorabilirsiniz, örneğin "Hangi ülkenin kişi başı gayrisafi yurt içi hasılası en yüksektir?" (Cevap: Monako, kişi başı 212.000 dolar) ya da "Stephen Wolfram kaç yaşında?" (Cevap: ben bunu yazarken 52 yıl, 9 ay, 2 gün idi). Bahsettiğim gibi, Alpha Apple'ın Siri'sinin bir parçası olarak kullanıldı; eğer Siri'ye gerçekçi bir soru sorarsanız bu soru ilgilenmesi için Alpha'ya bırakılır. Alpha ayrıca Microsoft'un Bing arama motoruna sorulan bazı sorularla da ilgilenir.

Yakın zamandaki bir blog yazısında Dr. Wolfram Alpha'nın artık zamanın % 90'ında başarılı cevaplar verdiğini rapor etti.[17] Ayrıca hata yapma oranında da on sekiz aylık bir yarılanma süresiyle üstel bir azalma olduğunu raporladı. Bu etkileyici bir sistem ve elde işlenmiş yöntemler ile elde kontrol edilmiş veriler kullanır. Bu, her şeyden önce, bilgisayarları yaratmamızın sebebidir. Bilimsel ve matematiksel yöntemler keşfettikçe ve derledikçe bu yöntemlerin uygulamasında bilgisayarların yardım almayan insan zekâsından çok daha iyi olduğunu görüyoruz. Bilinen çoğu bilimsel yöntem ekonomiden fiziğe kadar değişen konularda sürekli güncellenerek Alpha'da kodlandı. Dr. Wolfram ile yaptığım özel bir konuşmada Watson'da kullanılan kendini düzenleyen yöntemlerin iyi çalıştıklarında % 80 kesinlik oranını başardığını tahmin etti. Alpha'nın neredeyse % 90 kesinlik oranına ulaştığını işaret etti. Elbette, bu iki kesinlik değerinde de bir öz seçilim var zira kullanıcılar (örneğin ben), ne gibi sorularda Alpha'nın iyi olduğunu öğrendi ve benzer bir faktör kendini düzenleyen yöntemler için de geçerlidir. % 80 oranı Watson'ın *Jeopardy!* sorgularında ne kadar kesin olduğunu belirtmek için makul bir tahmin gibi görünüyor fakat bu oran en iyi insan oyuncuları mağlup etmek için yeterliydi.

Zihnin şekil tanıma teorisinde belirttiğim gibi, fikrimce kendini düzenleyen yöntemler, detayları ve gerçek dünyada karşılaştığımız olayların insan dili dahil genellikle muğlak hiyerarşileri anlamak için gereklidir. Güçlü bir şekilde akıllı bir sistem için ideal kombinasyon ZŞTT'ye dayalı hiyerarşik zekâ-

yı (ki insan beyninin bu şekilde çalıştığını iddia ediyorum) bilimsel bilgi ve verinin tam kodlaması ile birleştirmek olacaktır. Bu özünde bilgisayarlı bir insanı tarif eder. Zekânın iki kutbunu da önümüzdeki yıllarda geliştireceğiz. Biyolojik zekâmıza bakıldığında neokorteksimiz önemli oranda plastisiteye sahip olsa da temel mimarisi fiziksel kısıtlamalarla sınırlıdır. Alın kısmımıza ek neokorteks yerleştirmek evrimsel bir yenilikti fakat frontal lobumuzun boyutunu % 1.000 oranında değil % 10 oranında bile geliştiremeyiz. Yani, bunu biyolojik olarak yapamayız fakat bu tam da teknolojik açıdan yapacağımız şeydir.

AKIL YARATMAK İÇİN BİR STRATEJİ

> Beynimizde milyarlarca nöron var fakat bu nöronlar nedir? Sadece hücreler. Nöronlar arasında bağlantı kurulana kadar beynin hiçbir bilgisi yoktur. Tüm bildiğimiz, tüm varlığımız, nöronlarımızın bağlanış biçiminden gelir.
>
> – TIM BERNERS-LEE

Yukarıda bahsettiğim gözlemleri kullanarak bir beyin inşa etmeye başlayalım. Gerekli yetkilere sahip bir şekil tanıyıcı inşa ederek başlayacağız. Daha sonra sahip olduğumuz hafıza ve destekleyebildiğimiz bilgisayımsal kaynaklar kadar tanıyıcı kopyası yapacağız. Her tanıyıcı tanıdığı şeklin olasılığını hesaplar. Bunu yaparken her girdinin (bazı uygun süreklilikler içinde) gözlemlenen boyutunu hesaba katar ve bunu öğrenilmiş boyutla ve her girdiyle ilişkilenen boyut çeşitliliği parametresine karşı eşleştirir. Tanıyıcı, hesaplanan olasılık bir eşik değerini geçerse simüle edilmiş aksonunu ateşler. Şeklin olasılığının hesabını kontrol eden bu eşik değeri ve parametreler bir genetik algoritma kullanarak optimize edeceğimiz parametreler arasındadır. Her girdinin tanınacak bir şekil için aktif olmasının bir gereklilik olmaması kendiyle ilişkili tanımayı sağlar (yani, bir şekli var olan bir şeklin sadece bir kısmına bağlı olarak tanımak). Ayrıca, engelleyici sinyallere de izin veriyoruz (bu sinyaller şeklin daha az olası olduğunu belirtir).

Bir şeklin tanınması, simüle edilmiş akson üzerinden o şeklin tanıyıcısına aktif bir sinyal iletir. Bu akson, sırasıyla, kavramsal hiyerarşide daha yüksek bir basamakta bir ya da daha fazla şekil tanıyıcıya bağlıdır. Yüksek kavramsal basamakta bağlı olan şekil tanıyıcıların hepsi bu şekli girdilerinden biri olarak kabul eder. Her şekil tanıyıcı, ayrıca, ne zaman bir şeklin çoğu tanınırsa düşük kavramsal basamaklardaki şekil tanıyıcılara şeklin geri

kalanının "beklendiğini" belirten bir sinyal gönderir. Her şekil tanıyıcı bu beklenen sinyal girdi kanallarından birine ya da daha fazlasına sahiptir. Beklenen bir sinyal bu şekilde alındığında bu şekil tanıyıcıyı tanımak için var olan eşik değeri düşürülür (tanınma kolaylaştırılır).

Bu şekil tanıyıcılar birbirlerini kavramsal basamakta yukarı ve aşağıdaki şekil tanıyıcılara "bağlamak"tan sorumludur. Unutmayın ki bir yazılım uygulamasındaki tüm "bağlar" sanal bağlantılar üzerinden işletilir (internet bağlantılarına benzer şekilde bu bağlar basitçe hafıza göstergesidir) ve gerçek bağlar ya da kablolar değildir. Bu sistem aslında biyolojik beyinden çok daha esnektir. Bir insan beyninde yeni şekiller gerçek fiziksel bir şekil tanıyıcıya tahsis edilmek zorundadır ve yeni bağlantılar gerçek bir akson-dendrit bağıyla yapılmalıdır. Genellikle bu, aşağı yukarı ihtiyaç duyulan ve sonra tam bağlantının tamamlanması için gerekli akson ile dendrit uzantısını geliştiren mevcut fiziksel bir bağlantının alınması anlamına gelir.

Biyolojik memeli beyinlerinde kullanılan bir diğer teknik yüksek sayıda muhtemel bağlantıyla başlayıp sonradan kullanılmayan sinirsel bağlantıları budamaktır. Eğer biyolojik neokorteks daha yeni malzemeleri öğrenmek için eski şekilleri öğrenmiş olan şekil tanıyıcıları tekrar göreve atarsa bağlantıların fiziksel olarak tekrardan ayarlanması gerekir. Yine, bu işler bir yazılım uygulamasında çok daha kolaydır. Basitçe, yeni hafıza mekânlarını yeni şekil tanıyıcılara atarız ve hafıza bağlarını bağlantılar için kullanırız. Eğer dijital neokorteks kortikal hafıza kaynaklarını bir dizi şekilden diğerine tekrardan atamak isterse basit bir şekilde eski şekil tanıyıcıları hafızaya döndürür ve yeni atamayı yapar. Bu şekilde "çöp toplama" ve hafızanın yeniden atanması çoğu yazılım sisteminin mimarisinin standart bir özelliğidir. Dijital beynimizde, eski anıları aktif neokorteksten atmadan önce onları yedekleriz, bu biyolojik beynimizde alamayacağımız bir önlemdir.

Bu yaklaşımı kendini düzenleyen hiyerarşik şekil tanıyıcılara uygulamak için kullanılabilecek çeşitli matematiksel teknikler vardır. Benim kullanacağım yöntem birkaç sebep yüzünden hiyerarşik gizli Markov modelleri olurdu. Benim kişisel bakış açımdan, bu yöntemi 1980'lerden itibaren en erken konuşma tanıma ve doğal dil anlama sistemlerinde kullanmış olduğumdan bu yönteme birkaç on yıldır aşinalığım var. Tüm alanın bakış açısıyla; şekil tanıma işlerine gizli Markov modelleri kullanılarak, herhangi başka bir yaklaşımdan daha büyük bir deneyim elde edilir. Bu modeller ayrıca doğal dil anlamada da geniş çapta kullanıldı. Çoğu doğal dil anlama sistemi en azından matematiksel olarak HHMM'ye benzeyen teknikler kullanır.

Bütün gizli Markov modellerinin tamamen hiyerarşik olmadığını not edelim. Bazıları sadece birkaç hiyerarşi seviyesine izin verir – örneğin akustik evrelerden fonemlere ve sözcüklere gitmek. Bir beyin inşa etmek için sistemimizi ihtiyaç duyulduğu kadar çok hiyerarşi basamağı yaratmaya elverişli hâle getirmek isteyeceğiz. Ayrıca, çoğu gizli Markov modeli tamamen kendini düzenleyen türde de değildir. Bu sistemler başlangıç bağlantılarının sıfır bağlantı ağırlığı evrimleştirmesine olanak sağlayarak etkili bir şekilde başlangıç bağlantılarını budasa da bazıları sabit bağlantılara sahiptir. 1980'lerden 1990'lara kadar bizim sistemlerimiz ağırlığı belirli bir seviyeden daha az olan bağlantıları otomatik bir şekilde budadı ve eğitim verisini daha iyi şekilde modellemek için ve kullanım esnasında öğrenmek için yeni bağlantılar kurmaya da izin verdi. Önemli bir gereklilik, inanıyorum ki, sistemin esnek bir şekilde kendi topolojilerini öğrenme esnasında maruz kaldığı şekilleri temel alarak yaratmasına izin vermektir. Doğrusal programlama matematiksel tekniğini kullanarak yeni şekil tanıyıcılara en uygun şekilde bağlantı atayabiliriz.

Dijital beynimiz ayrıca her şeklin önemli fazlalığını, özellikle sıklıkla oluşanları yerleştirecek bir yer bulacaktır. Bu yaygın şekillerin güçlü bir şekilde tanınmasına izin verir ve ayrıca farklı şekil formlarının değişmez tanınmasını başarmaya yönelik önemli yöntemlerden biridir. Buna rağmen biz, ne kadar fazlalığa izin verileceğini belirlemek için kurallara ihtiyaç duyarız çünkü yaygın düşük seviye şekillerle hafızanın fazla miktarını kullanmak istemeyiz.

Fazlalığa, tanıma eşiklerine ve "bir şeklin beklenmesi"nin belirtilmesine yönelik eşik değerinin etkisini işaret eden kurallar bu tarz kendini düzenleyen sistemlerin performansını etkileyen bütün parametrelerin birkaç önemli örneğidir. Bu parametreleri başlangıçta sezgilerime dayanarak ortaya koydum fakat daha sonra bunları bir genetik algoritma kullanarak optimize edebilecektik.

Beyin için, biyolojik veya yazılımsal, en önemli düşüncelerden biri eğitimdir. Daha önce açıkladığım gibi, hiyerarşik şekil tanıma sistemi (dijital ya da biyolojik) bir kerede sadece iki –tercihan bir– hiyerarşik basamak hakkında öğrenecektir. Sistemi kendine yüklemek için daha önce eğitilmiş, insan konuşmasını, basılı harfleri ve doğal dil yapılarını anlama konularında derslerini öğrenmiş hiyerarşik ağlarla başlayacağım. Böylesine bir sistem doğal dilde yazılmış belgeleri okuyabilir fakat bir kerede yalnızca yaklaşık bir kavramsal basamakta uzmanlaşabilir. Daha önceden öğrenilen basamaklar bir sonraki basamağı öğrenmek için görece sabit bir temel sağlayacaktır. Sistem aynı bel-

geleri tekrar tekrar okuyabilir, birbirini izleyen her okumada insanların yeniden okumasında ve metinlere dair daha derin bir anlayış kazanmasına benzer şekilde yeni kavramsal basamaklar kazanır. Milyarlarca sayfalık malzeme internette mevcut. Başlı başına Vikipedi bile İngilizce versiyonunda dört milyon makaleden oluşur.

Ayrıca bu neokorteks yazılımında, var olan tüm şekillerin arka planını devamlı tarayacak, bunların diğer şekillerle (düşüncelerle) uyumluluğunu gözden geçirecek bir eleştirel düşünme modülü de sağlayacaktım. Biyolojik beyinlerimizde böyle bir imkânımız yok ve bu yüzden insanlar tamamen tutarsız düşüncelere ılımlı bakabiliyorlar. Tutarsız bir fikri tanımlarken dijital modül kendi kortikal yapılarının yanı sıra yararlanılabilir koca bir literatürü de içererek bir çözüm aramaya başlayacaktır. Bir çözüm basit bir şekilde tutarsız düşüncelerden birinin yanlış olduğunu belirlemek anlamına gelebilir (eğer ki çelişen verinin üstünlüğüyle diğer düşüncenin uygun olmadığı gösterilirse). Daha yapıcı şekilde sistem, daha yüksek bir kavramsal basamakta, her düşünceyi açıklayan bir bakış açısı sağlayarak görünen çelişkiyi çözen bir düşünce bulabilir. Sistem bu çözümü yeni bir şekil olarak ekleyecek ve ilk başta bu çözümü aramaya sebep olan düşüncelere bağlayacaktır. Bu eleştirel düşünce modülü, devamlı arka plan görevi olarak çalışır. İnsan beyni de aynı şeyi yapıyor olsaydı oldukça faydalı olurdu.

Her disiplinde açık soruları tanımlayan bir modül de sunacağım. Bir başka devamlı arka plan görevi olarak bu modül benzeşmeyen bilgi alanlarındaki sorulara çözümler arar. Belirttiğim gibi, neokorteksteki bilgi derine yerleşmiş şekillerin şekillerinden oluşur ve dolayısıyla tamamen mecazidir. Bir şekli görünüşte bağlantısız bir alanda çözüm ya da kavrayış sağlaması için kullanabiliriz.

Örnek olarak, Dördüncü Bölüm'de kullandığım gaz moleküllerinin rastgele hareketiyle evrimsel değişimin rastgele hareketlerini bağdaştırdığım metaforu hatırlayın. Gaz molekülleri görünürde yön algıları olmadan rastgele hareket ederler. Buna karşılık, bir beherglastaki neredeyse tüm gaz molekülleri yeterli zaman verildiğinde beherglası terk edecektir. Bu örneğin zekânın evrimini ilgilendiren önemli bir soruya bir bakış açısı sunduğunu belirtmiştim. Gazdaki moleküller gibi evrimsel değişimler de görünürde bir yönü olmadan her yöne doğru hareket eder. Yine de bizler daha karmaşık ve daha zeki bir yöne doğru, aslında evrimin en önemli başarısı olan hiyerarşik düşünme yeteneğine sahip bir neokorteks evrimleştirmeye doğru ilerleme görüyoruz. Bu sebeple, amaçsız ve yönsüz görünen sürecin bir alana bakıp (termodi-

namik) başka bir alanda (biyolojik evrim) nasıl amaç dolu bir sonuç başardığını kavrayabildik.

Daha önce Charles Lyell'ın kaya oluşumlarında akan suya bağlı küçük değişimlerin zamanla kanyonlar oluşturduğu fikrinin Charles Darwin'e bir türdeki canlıların özelliklerinin devamlı küçük değişimlere maruz kaldığı gözlemi için ilham olduğundan bahsetmiştim. Bu metafor arayışı da bir başka devamlı arka plan süreci olabilir.

Yapısal düşüncenin benzerini sağlamak için birden çok listeyi eş zamanlı adımlayacak bir yöntem sunmalıyız. Liste, bir sorun çözümünün sağlaması gereken kısıtlamaların ifadesi olabilir. Her adım var olan düşünce hiyerarşileri ya da mevcut literatür boyunca tekrarlı bir arama yaratabilir. İnsan beyni (bilgisayar gibi araçların yardımı olmadan) aynı anda sadece dört listeyle ilgilenebilir gibi görünüyor fakat yapay bir neokorteksin böyle bir kısıtlamaya sahip olması için hiçbir sebep yok.

Yapay beyinlerimizi bilgisayarların her zaman başarılı olduğu tarzda muazzam miktarda veride kesin şekilde uzmanlaşmak ve bilinen algoritmaları hızlı ve etkili bir şekilde uygulayan tarzda bir zekâyla da geliştirmek isteyeceğiz. Wolfram Alpha özgün bir şekilde bilinen birçok bilimsel yöntemi birleştiriyor ve toplanan veriye dikkatli bir şekilde bu yöntemleri uyguluyor. Bu tarz bir sistem Dr. Wolfram'ın hata paylarında gözlemlediği ciddi düşüşle birlikte gelişmeye devam edecek.

Son olarak, yeni beynimizin bir amaca ihtiyacı var. Bu amaç bir dizi hedef olarak açıklanıyor. Biyolojik beyinlerimizin durumunda hedeflerimiz eski beynimizden kalıtım yoluyla aldığımız zevk ve korku merkezleri tarafından tesis ediliyor. Bu ilkel dürtüler başlangıçta biyolojik evrim tarafından türlerin hayatta kalmasını teşvik etmek amacıyla belirlenmişti fakat neokorteks bunları arıtmamızı sağladı. Watson'ın hedefi *Jeopardy!* sorgularına cevap vermekti. Diğer belirlenmiş hedef Turing testini geçmek olabilir. Bunu yapmak için dijital bir beyin kendi imgesel hikâyesini anlatan insan bir aracıya ihtiyaç duyacaktır ki biyolojik bir insan rolüne girebilsin. Ayrıca diyelim ki Watson'ın bilgisini sergileyen herhangi bir sistemin biyolojik olmadığının ortaya çıkmaması için hatırı sayılır şekilde seviyesini düşürmesi gerekir.

Daha ilginç olanı, yeni beynimize daha büyük bir hedef verebiliriz, örneğin daha iyi bir dünyaya katkıda bulunmak. Bu şekilde bir hedef elbette birçok soruyu doğurur: Kimin için daha iyi? Ne şekilde daha iyi? Biyolojik insanlar için mi? Tüm bilinçli varlıklar için mi? Eğer bilinçli varlıklar içinse, kim ya da ne bilinçlidir?

Biyolojik olmayan beyinler biyolojik olanlar kadar dünyadaki değişiklikleri etkileyebilir hâle geldiğinde –aslında, en nihayetinde geliştirilmemiş biyolojik beyinlerden çok daha becerikli hâle geldiğinde– bunların ahlâki eğitimini düşünmemiz gerekecek. Bu işe başlamak için iyi bir nokta dini geleneklerimizden gelen eski bir düşünce olacaktır: altın kural.

SEKİZİNCİ BÖLÜM

Bir Bilgisayar Olarak Zihin

Fransız köy ekmeği şeklinde olan beynimiz kalabalık bir kimya laboratuvarıdır, durmayan sinirsel iletişimlerle koşuşturur. Beyni bir hayal edin, o parlak varoluş öbeğini, o gri mavi hücreleri, o rüya fabrikasını, bir top kemiğin içindeki o küçük tiranı, her şeye hâkim olan o nöron parmaklıkları, o küçücük yerler, o gelir geçer keyif tepesi, özün o spor çantasına fazla gelen kıyafetler gibi kafatasına sıkıştırılmış kırışık gardırobu gibidir.

– Diane Ackerman

Beyin vardır çünkü kaynakların dağılımı hayatta kalmak için gereklidir ve hayatta kalmayı tehdit eden riskler uzay ve zamanda değişir.

– John M. Allman

Beynin modern coğrafyası, bilinen dünyanın içinde canavarların gezindiği keşfedilmemiş topraklar (*terra incognita*) tarafından sarılmış bir Ortaçağ haritasından ziyade ona leziz bir şekilde eskimiş bir his verir.

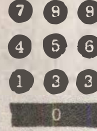
– David Bainbridge

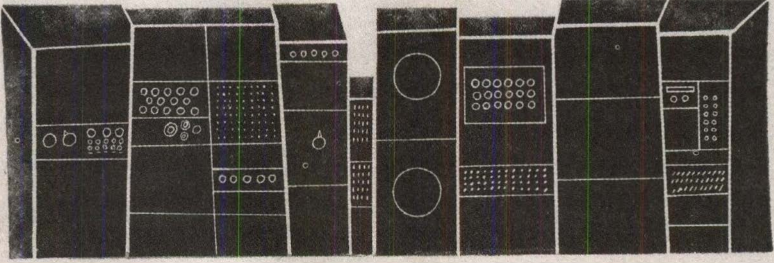
Matematikte olan şeyleri anlamazsınız. Sadece onlara alışırsınız.

– John von Neumann

20. yüzyılın ortasında bilgisayarlar ortaya çıktığından beri sadece bilgisayarların yapabileceklerinin en uç noktası değil insan beyninin bir bilgisayar formu olarak kullanılıp kullanılamayacağı hakkında da süregelen bir tartışma var. İkinci soru dikkate alındığında fikir birliği, bu iki tür bilgi işleyen varlığın özünde aynı olduğu görüşünden bu ikisinin temelde farklı olduğu noktasına kaydı. O zaman beyin bir bilgisayar mı?

bir hesap makinesi kadar basit...





elektronik bir beyin kadar akıllı!

e101



E101 ikisinin de faydalarını bir araya getiriyor ve aradaki problemleri düşük bütçe ile ve teknik insanların harcadığı zamandan büyük tasarrufla çözüyor. Kart içi programlama – E101 digital bilgisayarının ayrıcalıklı özelliği– altı saat içinde yapılabilir; tanıdık gösterimlerle ve kodlama olmadan. Bu sebeple E101 onunla kıyaslanabilecek tüm bilgisayarlar toplandığında daha çok çalışır. Hızlı veri gönderimi ve ani servis. Test amacıyla; size nasıl hizmet ettiğimizin örneğini ve kanıtını yollayın. Gösterim için ya da açıklayıcı kitapçık için bize yazın:

ElectroData

Division of Burroughs Corporation
with world-wide sales and service facilities
460 Sierra Madre Villa
Pasadena, California

25

Bilgisayarı dev bir beyin olarak gösteren popüler düşünceyi sergileyen 1957 tarihli bir reklam.

Bilgisayarlar ilk kez 1940'larda popüler bir konu hâline geldiğinde dakikasında düşünme makineleri olarak görüldüler. 1946'da duyurulan ENIAC basında "dev beyin" olarak tanıtıldı. Bir sonraki on yılda bilgisayarlar piyasada mevcut hâle geldiğinde reklamlar rutin bir şekilde bilgisayarlardan, biyolojik beyinlerin boy ölçüşemediği işleri yapan beyinler olarak bahsetti.

Bilgisayar programları makineleri hızlıca bu hesaba ulaştırdı. 1959'da Herbert A. Simon, J. C. Shaw ve Allen Newell tarafından Carnegie Mellon Üniversitesi'nde yaratılan "genel problem çözücü" matematikçi Bertrand Russell (1872-1970) ve Alfred North Whitehead'in (1861-1947) 1913 tarihli ünlü *Principia Mathematica* adlı işlerinde çözemedikleri bir teoriye kanıt bulabildi. Takip eden yıllarda görünür hâle gelen şey bilgisayarların matematik problemi çözmek, hastalık tanısı koymak ve satranç oynamak gibi düşünsel alıştırmalarda yardım görmeyen insanın yapabildiklerini rahatlıkla ve önemli şekilde aşabildiği fakat bağcıklarını bağlayan bir robotu kontrol etmekte ya da beş yaşında bir çocuğun anlayabildiği gündelik dili anlamakta zorlandığıdır. Bilgisayarlar ancak şimdilerde bu gibi becerilerde uzmanlaşmaya başlıyorlar. İronik bir şekilde bilgisayar zekâsının evrimi insan olgunlaşmasının aksi yönde ilerledi.

İnsan beyniyle bilgisayarların eş bir düzeyde olup olmadığı sorusu bugün de tartışmaya yol açan bir mesele. Giriş kısmında insan beyninin karmaşıklığına dair yazılmış alıntıların bulunduğu milyonlarca bağlantı olduğundan bahsetmiştim. Benzer bir şekilde "Alıntı: beyin bir bilgisayar değildir" Google'da sorgulandığında da milyonlarca bağlantı çıkar. Bana göre, bu sorgu "Elma sosu elma değildir" ile aynı düzlemdedir. Teknik olarak bu ifade doğru fakat elmadan elma sosu yapabilirsiniz. Belki de daha önemlisi, bu "Bilgisayarlar sözcük işlemcisi değildir" demek gibi bir şey. Bilgisayar ile sözcük işlemcisinin farklı kavramsal seviyelerde var olduğu doğru fakat bir bilgisayar sözcük işlemcisi yazılımı çalıştırıyorsa bir sözcük işlemcisine dönüşebilir. Aynı şekilde, bilgisayar beyin yazılımı çalıştırıyorsa bir beyin hâline gelebilir. Ben dahil, araştırmacıların yapmaya çalıştığı şey de budur.

O zaman, soru, bilgisayarı insan beynine benzer bir varlığa dönüştürecek bir algoritmanın bulunup bulunamamasıdır. Sonuçta bir bilgisayar temelinde olan evrensellik yüzünden (sadece kapasitesine bağlı olarak) tanımlayabileceğimiz herhangi bir algoritmayı çalıştırabilir. Diğer taraftan insan beyni ise belirli bir algoritma dizisi çalıştırıyor. Bilgisayarın yöntemleri, önemli oranda plastisiteye izin verdiği ve kendi bağlantılarını kendi deneyimlerine

bağlı olarak yeniden yapılandırdığı için akıllı fakat bu işlevler bir yazılımda da taklit edilebilir.

Bilgisayımın (genel amaçlı bir bilgisayarın herhangi bir algoritmayı yerleştirebilmesi kavramı) evrenselliği –ve bu fikrin gücü– ilk gerçek makinelerle aynı zamanda ortaya çıktı. Bilgisayımın evrenselliği ve geçerliliği ve düşünmemize uygulanabilirliği ile ilgili dört önemli kavram vardır. Bunlar burada gözden geçirmeye değer çünkü beynin kendisi de bunları kullanır. Bunların ilki iletişim, hatırlama ve bilgiyi güvenilir bir şekilde hesaplama yeteneğidir. 1940 civarında "bilgisayar" sözcüğünü kullandığınızda insanlar sayıların farklı voltaj seviyeleriyle temsil edildiği ve özelleşmiş bileşenlerin toplama ve çarpma gibi aritmetik işlemler yapabilen analog bir bilgisayardan bahsettiğinizi varsayıyordu. Analog bilgisayarların büyük kısıtlaması ise kesinlik sorunlarıyla uğraştırmasıydı. Sayılar yalnızca yüz parçadan biri gibi bir kesinlikle temsil edilebiliyordu ve sayıları temsil eden voltaj seviyeleri artan sayıda aritmetik operatörle işleniyordu, hatalar birikiyordu. Bir avuçtan fazla hesaplama yapmak istediğinizde sonuçlar manasızlaşacak kadar yanlış oluyordu.

Analog ses kayıt makineleriyle müzik kaydı günlerini hatırlayanlar bu etkiyi anımsayacaktır. İlk kopyada fark edilir bir bozulma vardı, orijinalinden biraz daha gürültülüydü. ("Gürültü" sözcüğünün rastgele kusurları temsil ettiğini hatırlayın.) Kopyanın kopyası da hâlâ gürültülüydü ve artık onuncu nesil kopya neredeyse tamamen gürültüden oluşuyordu. Aynı sorunun ortaya çıkan dijital bilgisayar dünyasında da bela olacağı sanıldı. Dijital bilginin bir kanal boyunca iletişimini düşünürsek bu gibi kaygıları anlayabiliriz. Hiçbir kanal mükemmel değildir ve her birinin doğası gereği biraz hata payı olacaktır. Her biti % 90 olasılıkla doğru ileten bir kanalımızın olduğunu düşünün. Bir bit uzunluğunda bir mesajı gönderirsem bunu kusursuz bir şekilde o kanal boyunca iletmemin olasılığı % 90'dır. İki bit gönderdiğimi düşünün. Şimdi kesinlik payı $(0.9)^2$=0,81. Eğer bir bayt (sekiz bit) gönderirsem nasıl olur? Doğru bir şekilde göndermek için şansım yüzde elliden daha düşük (net olmak gerekirse 0,43). Beş baytı doğru gönderme olasılığım neredeyse % 1.

Bu sorunun üstesinden gelmek için en iyi çözüm kanalı daha hassas yapmaktır. Kanalın bir milyon bitte bir hata yaptığını düşünün. Yarım milyon bayttan (mütevazı bir program ya da veritabanı boyutunda) oluşan bir dosya gönderirsem kanal yapısı gereği oldukça hassas olsa da bunu doğru bir şekilde iletme olasılığı % 2'den az olur. Bir bitlik bir hata bilgisayar programını ve diğer dijital veri biçimlerini tamamen geçersiz kılabilir. Bir iletimde

hatanın olanaklılığı kanalın hassasiyetinden bağımsız olarak mesajın boyutuna göre çok artabileceği için durum inatçı bir engel gibi görünüyor.

Analog bilgisayarlar bu soruna dereceli bozulma (yani kullanıcılar sadece küçük hataları hoş görebildikleri sorunlarla karşılaşırlar) ile yaklaştı; bununla birlikte, analog bilgisayar kullanıcıları kendilerini sınırlı bir dizi hesaplamayla kısıtlarsa bilgisayarlar biraz daha faydalı hâle gelirdi. Öte yandan, dijital bilgisayarlar da sürekli iletişim gerektirir, sadece bir bilgisayardan diğerine değil ayrıca bilgisayarın kendi içinde de iletişim kurması gerekir. Bellekten merkezi işlemciye ve merkezi işlemciden belleğe doğru iletişim vardır. Merkezi işlemci birimi içerisinde de bir kayıttan diğerine, buradan aritmetik birimine ve aritmetik biriminden tekrar buraya iletişim vardır. Aritmetik biriminin içinde bile bir bit kaydından diğerine iletişim olur. İletişim her seviyeye nüfuz eder. Hata oranlarının artan iletişimle hızlıca yükseldiğini ve bir bitlik hatanın sürecin bütünlüğünü bozduğunu düşünürsek, dijital bilgisayım ölüme mahkûmdu – ya da o zamanlar öyle görülüyordu.

Dikkat çekecek biçimde, Amerikalı matematikçi Claude Shannon (1916-2001) geldi ve gelişigüzel doğru iletişimi en güvenilmez kanalları kullansak da nasıl yaratabileceğimizi gösterdi. Shannon, *Bell System Technical Journal*'da Temmuz ve Ekim 1948'de yayınlanan dönüm noktası niteliğindeki "Mathematical Theory of Communication"* adlı makalesinde ve özellikle gürültülü kanal kodlama sistemi teoreminde eğer herhangi bir hata payına sahip bir kanalınız varsa (bir bitte % 50 hata payı hariç çünkü bu kanal saf gürültü iletiyor olurdu), dilediğiniz kadar bir hata payıyla bir mesajı iletebileceğimizi ifade etti. Diğer bir deyişle iletimdeki hata payı *n* bit içinden bir bit olabilir ve *n* sayısı da tanımlayabildiğiniz kadar büyük olabilir. Bu sebeple, en uç noktada, eğer bitlerin iletimini % 51 oranında doğru yapan bir kanalınız varsa (yani kanal, doğru biti yanlış bitten yalnızca biraz daha sık iletiyor) yine de mesajları milyonda bir yanlışlık payıyla ya da trilyonda bir ya da trilyon tane trilyonda bir yanlışlık payıyla iletebilirsiniz.

Bu nasıl mümkün olabilir? Cevap fazlalık payında. Bu şu an apaçık görünebilir fakat o zamanlarda belli değildi. Basit bir örnekle, eğer her biti üç kere iletirsem ve çoğunluk oyunu alırsam sonucun güvenilirliğini büyük ölçüde artırırım. Eğer bu yeterli derecede iyi değilse basitçe fazlalık payını ihtiyacınız olan güvenilirliğe ulaşana kadar artırın. Bilgiyi tekrar etmek düşük doğruluk payı olan kanallardan gelişigüzel yüksek doğruluk payına ulaşmak için

(*) İletişim için Matematiksel bir Teori – ç.n.

en basit yoldur fakat bu en etkili yaklaşım değil. Shannon'ın makalesi bilgi teorisi alanını kurdu, hata tespiti ve hedeflenen *herhangi* bir doğruluğu rastgele olmayan *herhangi* bir kanalda başarabilecek doğrulama kodları için uygun yöntemler sundu.

Yaşı daha ileri olan okuyucular telefon modemlerini anımsayacaktır, bu modemler bilgiyi gürültülü analog telefon hatlarıyla iletiyordu. Bu hatlar, işitsel olarak belirgin tıslamalar ve çat pat sesleri ile diğer birçok bozukluk içeriyordu fakat yine de Shannon'ın gürültülü kanal teoremi sayesinde dijital veriyi yüksek doğruluk oranlarıyla iletebiliyordu. Aynı sorun ve aynı çözüm dijital bellek için de var. CD'lerin DVD'lerin ve program disklerinin yere düşüp çizilse de nasıl güvenilir sonuçlar verdiğini hiç düşündünüz mü? Yine, Shannon'a teşekkür edebiliriz.

Bilgisayım üç elementten oluşur: iletişim –ki bahsettiğim gibi bilgisayarlar içine ve arasına nüfuz eder– bellek ve mantık geçitleri (bu geçitler aritmetik ve mantıksal işlevleri üstlenir). Mantık geçitlerinin doğruluğu da benzer şekilde hata tespiti ve doğrulama kodları kullanılarak gelişigüzel yükseltilebilir. Keyfi olarak geniş ve karmaşık dijital veriyi ve algoritmaları süreçler hatalar yüzünden altüst edilmeden ya da tahrip edilmeden idare edebilmemiz Shannon'ın teoremi ve teorisi sayesinde olur. Beynin Shannon'ın prensibini kullandığını belirtmek önemlidir, insan beyninin evrimi açıkça Shannon'ın beyninin evriminden önce geliyor olsa da! Şekillerin ya da fikirlerin çoğu (bir fikir de aynı zamanda bir şekildir), gördüğümüz kadarıyla, önemli miktarda bir fazlalıkla depolanır. Beyindeki fazlalığın ilk sebebi sinirsel devrelerin yapısı gereği güvenilmez oluşudur.

Bilgi çağının bağlı olduğu ikinci önemli fikir de daha önce bahsettiğim bilgisayımın evrenselliğidir. 1936'da Alan Turing "Turing makinesi"ni tanımlarken bu gerçek bir makine değil bir başka düşünme deneyiydi. Teorik bilgisayarı her karede 1 ya da 0 içeren sonsuz uzunlukta bir bellek kaydından oluşuyordu. Makinenin girdileri bu kayıt üzerinde sunuluyordu ve makine her seferinde bir kare okuyordu. Makine ayrıca bir kurallar tablosu içeriyordu –aslında depo edilen bir program– ve bu tablo numaralandırılmış evrelerden oluşuyordu. O esnada okunan kare 0 ise her kural belirli bir hareketi belirtiyordu ve o esnada okunan kare 1 ise farklı bir hareketi belirliyordu. Muhtemel hareketler kayda 0 ya da 1 yazmayı, kaydı bir kare ileri ya da geri hareket ettirmeyi ya da durdurmayı içeriyordu. Her evre daha sonra makinenin içinde olması gereken gelecek evrenin numarasını belirliyordu.

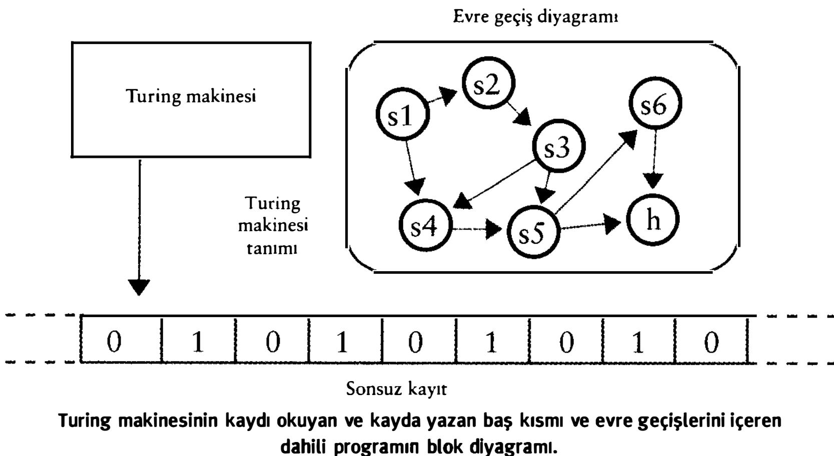
Turing makinesine giren girdi kayıtta sunulur. Program çalışır ve makine duraksar, algoritmasını tamamlamıştır ve sürecin çıktısı kayda bırakıl-

mıştır. Kayıt teoride sonsuz uzunlukta olsa da sonsuz döngüye girmeyen herhangi gerçek bir program kaydın sadece sonlu bir kısmını kullanacaktır dolayısıyla eğer kendimizi sonlu bir kayıtla sınırlandırırsak makine yine de gerekli bir dizi sorunu çözecektir.

Eğer Turing makinesi kulağa basit gibi geliyorsa bu mucidinin amacındandır. Turing makinesinin mümkün olduğunca basit olmasını istedi (Einstein'ın sözlerini kullanmamız gerekirse, "daha basit değildi"). Turing ve Alonzo Church (1903-1995), Turing'in eski profesörü Church-Turing tezini geliştirmeye devam etti ki bu tez Turing makinesine sunulabilen bir sorun makine tarafından çözülemiyorsa doğal kural gereği başka *herhangi* bir makine tarafından da çözülemeyeceğini ifade ediyordu. Turing makinesi sadece bir avuç dolusu komuta sahip olup ve her seferinde bir bit işlese de herhangi bir bilgisayarın hesaplayabileceği her şeyi hesaplayabilir. Bunu söylemenin diğer yolu da herhangi bir bilgisayar "Turing bütünü" ise (yani Turing makinesine eşdeğer becerilere sahipse) herhangi bir algoritmayı (tanımlayabileceğimiz herhangi bir prosedürü) hesaplayabilir.

Church-Turing tezinin "güçlü" yorumları bir insanın düşünebileceği ya da bilebileceği şeyler ile makine tarafından hesaplanabilecek şeyler arasında temel bir benzerlik sunmasıdır. Temel fikir insan beyninin benzer şekilde doğal kurala tabi olması ve bu sebeple bilgi-işlem becerisinin bir makineninkini (ve dolayısıyla Turing makinesini) aşamıyor olmasıdır.

1936 yılında yazdığı makalesiyle bilgisayımın teorik temelini kurduğu için Turing'e itibar edebiliriz fakat Turing'in Macar Amerikalı matematikçi



Turing makinesinin kaydı okuyan ve kayda yazan baş kısmı ve evre geçişlerini içeren dahili programın blok diyagramı.

John von Neumann'ın (1903-1957) Cambridge'de 1935'te verdiği, depolanmış program kavramı üzerine –ki bu kavram Turing makinesinde kutsallaştırılmıştı– bir konuşmasından derin şekilde etkilendiğini not etmek önemlidir.[1] Bunun üzerine von Neumann da Turing'in 1936 yılında yazdığı makaleden etkilenmişti, bu makale de zarif bir şekilde bilgisayımın prensiplerini ortaya koydu ve çalışma arkadaşları için 1930'ların sonu ve 1940'ların başında bu gerekli bir okuma hâline geldi.[2]

Aynı makalede Turing bir başka beklenmedik keşfi bildirir: çözülemeyen sorular. Bu sorular özgün cevaplarla tanımlanmıştır ve varlığı gösterilebilir fakat Turing makinesiyle asla hesaplanamayacağını da – yani, herhangi bir makine tarafından asla hesaplanamayacağını, kanıtlayabiliriz, bu herhangi tanımlanabilen bir sorunun en nihayetinde çözüleceğine dair 19. yüzyılda var olan dogmanın yürürlükten kalkmasıdır. Turing çözülebilen sorular kadar çözülemeyen soru olduğunu gösterdi. Avusturyalı Amerikalı matematikçi ve filozof Kurt Gödel 1931 tarihli "eksiklik teoremi"nde benzer bir sonuca ulaştı. Dolayısıyla insanın kafasını karıştıran bir soruyu tanımlayabilme durumuyla karşılaştık, özgün bir cevabın var olduğunu kanıtlama ve yine de cevabın asla bulunamayacağını bilmek.

Turing özünde bilgisayımın çok basit bir mekanizmayı temel aldığını gösterdi. Turing makinesi (ve dolayısıyla herhangi bir bilgisayar) gelecekteki hareket biçimini hâlihazırda hesapladığı sonuçlara temellendirebildiği için karar verebilir ve bilginin karmaşık hiyerarşilerini gelişigüzel modelleyebilir.

1939'da Turing Bombe adında Nazi Enigma kod makinesiyle şifrelenen mesajların deşifre edilmesine yardım eden elektronik bir hesap makinesi tasarladı. 1943'te Turing'den etkilenen bir mühendis takımı muhtemelen ilk bilgisayar olan ve Enigma'nın daha sofistike versiyonlarından gelen mesajları Müttefik Kuvvetleri'nin deşifre etmesini sağlayan Colossus'u tamamladı. Bombe ve Colossus tek bir görev için tasarlandı ve farklı bir görev için programlanamıyordu. Ancak bu görevi parlak bir şekilde yaptılar ve Müttefiklerin Alman Luftwaffe'nin İngiliz Kraliyet Hava Kuvvetleri'ne karşı kazandığı avantajı üçe bir hâline getirmesini ve önemli Britanya Savaşı'nı kazanmasını sağlarken savaş boyunca Nazi taktiklerini tahmin etmeye devam ettiler.

John von Neumann modern bilgisayarın mimarisini bu temeller üzerine yarattı ki bu da üçüncü büyük fikri temsil ediyor. Von Neumann makinesi adlı makine geçtiğimiz altmış yedi yıldır her bilgisayarın çekirdek yapısında bulunuyordu, çamaşır makinenizdeki mikrodenetleyiciden en büyük sü-

perbilgisayarlara kadar. 30 Haziran 1945 tarihli "EDVAC üzerine ilk Rapor Taslağı" başlıklı bir makalede von Neumann bilgisayım alanında en başından beri baskın olan fikirlerini sundu.[3] Von Neumann modeli aritmetik ve mantıksal işlemlerin yapıldığı bir merkezi işlemci birimi, program ve verilerin saklandığı bir bellek birimi, program sayacı olan yığınsal bellek ve girdi/çıktı kanallarından oluşur. Bu makale dahili proje belgesi olarak tasarlanmış olsa da bilgisayar tasarımcılarının kutsal kitabı hâline geldi. Görünüşte rutin bir proje bildirisinin dünyayı ayaklandıracağını asla bilemezsiniz.

Turing makinesi pratik olma amacıyla tasarlanmamıştı. Turing'in teoremleri problem çözümünün verim oranıyla değil de teoride bilgisayımla çözülebilecek problemler sınıfının incelenmesiyle ilgileniyordu. Öte yandan von Neumann'ın hedefi uygulanabilir bir bilgisayımsal makine kavramı yaratmaktı. Von Neumann'ın modeli Turing'in bir-bit hesaplarının birden çok bitli sözcükler (genellikle sekizin katlarından oluşan) ile değiştirdi. Turing'in bellek bandı sıralıydı, bu yüzden Turing makinesinin programları aradaki sonuçları almak için ileri geri yaparak gereğinden fazla vakit harcıyorlardı. Aksine, von Neumann'ın belleği rastgele erişim belleğiydi ve bu sayede herhangi bir veri anında alınıyordu.

Von Neumann'ın önemli fikirlerinden tüm bu gelişmelerden on yıl önce sunduğu fikri: programı veri gibi benzer bir rastgele erişim belleğine (hatta çoğunlukla aynı bellek bloğuna) yerleştirmekti. Bu, bilgisayarın kendini değiştiren kodla birlikte (eğer program deposu yazılabiliyorsa) farklı görevler için tekrardan programlanmasına izin verir ki bu durum güçlü bir yinelemeye olanak sağlar. O zamana kadar, neredeyse tüm bilgisayarlar Colossus dahil, belirli bir görev için inşa edilmişti. Depolanan program bir bilgisayar için gerçekten evrensel olmayı mümkün kılar, böylece Turing'in bilgisayımın evrenselliği görüşünün altını doldurur.

Von Neumann makinesinin bir başka önemli tarafı da her yönergenin aritmetik ya da mantıksal işlemin uygulanması ve bellekten alınan bilginin adresi için bir işlem kodu içermesidir.

Bilgisayarın nasıl inşa edilmesi gerektiğine dair von Neumann'ın kavramı EDVAC tasarımı makalesiyle tanıtıldı, bu proje J. Presper Eckert ve John Mauchly'nin işbirliğiyle yürütülmüştü. EDVAC'ın kendisi 1951'e kadar uygulamaya konmadı ki bu tarihte program depolayan başka bilgisayarlar vardı, örneğin Manchester Small-Scale Experimental Machine, ENIAC, EDSAC ve BINAC Neumann'ın makalesinden derin bir şekilde etkilenmişti ve Eckert ile Mauchly tüm bu bilgisayarların tasarımcılarıydı. Von Neumann bu

makinelerin bazılarının tasarımına, ENIAC'ın depolanan programı destekleyen sonraki versiyonu dahil direkt olarak katkıda bulundu.

Von Neumann'ın mimarisini gösteren birkaç işaret vardı, şaşırtıcı bir istisna ile bunların hiçbiri gerçek von Neumann makineleri olmasalar da. 1944'te Howard Aiken depo edilen bir program kullanmayan Mark I'i programlanabilirlik unsuruyla tanıttı. Mark I yönergeleri delikli bir kâğıt banttan okuyordu ve her komutu anında gerçekleştiriyordu. Ayrıca Mark I koşullu dallanma yönergelerine sahip değildi.

1941'de Alman biliminsanı Konrad Zuse (1910-1995) Z-3 bilgisayarını yarattı. Bu bilgisayar da programını bir banttan okuyordu (bu sefer filme kodlanmış) ve hiç koşullu dallanma yönergesi yoktu. İlginç bir şekilde, Zuse, aleti kanat titremesini çalışmak için kullanan Alman Uçak Araştırma Enstitüsü'nden destek aldı fakat yedek parçalarını vakum tüpleriyle değiştirmek amacıyla fon istemek için Nazi hükümetine yazdığı öneri reddedildi. Naziler bilgisayımı "savaş kadar önemli" görmedi. Bu bakış açısı, fikrimce, savaşın sonucunu açıklamaya doğru giden, uzun bir yol alıyor.

Açıkçası von Neumann'ın kavramının özgün bir habercisi var ve bu haberci yüz yıl öncesinden geliyor! İngiliz matematikçi ve mucit Charles Babbage'ın (1791-1871) ilk kez 1837'de tarif ettiği Analitik Motoru von Neumann'ın fikirlerini kapsıyordu ve Jacquard'ın dokuma tezgâhından ödünç alınan delikli kartlar yoluyla depolanan bir programı özellik olarak barındırıyordu.[4] Rastgele erişim belleği her biri 50 tane onlu basamaktan (yaklaşık 21 kilobayta denk) oluşan 1.000 sözcük içeriyordu. Her yönerge, modern makine dilleri gibi, bir işlem kodu ve bir işlemci numarası içeriyordu. Koşullu dallanma ve döngüleme içeriyordu dolayısıyla gerçek bir von Neumann makinesiydi. Tamamen mekanik dişlilere dayanıyordu ve görünen o ki Analitik Motor Babbage'ın tasarımının ve örgütsel becerilerinin ötesindeydi. Babbage makinenin parçalarını üretti fakat hiçbir zaman çalıştırmadı. Von Neumann dahil 20. yüzyıl bilgisayar öncülerinin, von Neumann dahil, Babbage'ın işinden haberlerinin olup olmadığı belirsiz.

Babbage'ın bilgisayarı yazılım programlama alanının yaratılışına gerçekten sebep oldu. İngiliz yazar Ada Byron (1815-1852) Lovelace Kontesi ve şair Lord Byron'ın tek meşru çocuğu dünyanın ilk bilgisayar programcısıydı. Analitik Motor için programlar yazdı ki bu programların hatalarını zihninde ayıklaması gerekiyordu (zira bilgisayar hiçbir zaman çalışmıyordu), bu pratik bugün de yazılım mühendislerinin "tablo kontrolü" olarak bildiği şeydir. İtalyan matematikçi Luigi Menabrea'nın bir makalesini Analitik Motor'da

çevirdi ve geniş kapsamlı notlarını eklerken "Analitik Motor tıpkı Jacquard dokuma tezgâhının çiçekler ve yapraklar dokuduğu gibi cebirsel örnekler dokuyor," yazdı. Belki de yapay zekânın uygulanabilirliği ile ilgili ilk yorumları yaptı fakat Analitik Motor'un "bir şeyi başlatmak için hiçbir savı yoktur," sonucuna vardı.

Babbage'ın kavrayışı, yaşadığı ve çalıştığı çağı düşündüğümüzde biraz mucizevi kalıyor. Bununla birlikte, 20. yüzyılın ortalarında Babbage'ın fikirleri zamanın sisiymişçesine ortadan kayboldu (sonradan yeniden keşfedilmiş olsa da). Bugün bildiğimiz bilgisayarın prensiplerini kavramlaştıran ve önemli noktaları açık açık belirten von Neumann'dı ve dünya von Neumann makinesini bilgisayımın başı olarak tanımaya ve anmaya devam ediyor. Von Neumann makinesinin çeşitli birimler arasında ve bu birimler içinde sürekli verileri iletişime geçirdiğini ve bu yüzden Shannon'ın güvenilir dijital bilgiyi iletmek ve saklamak için geliştirdiği teoremleri ve yöntemleri olmasaydı bilgisayarın inşa edilemeyeceğini aklınızda tutun.

Bu da bizi dördüncü önemli fikre getiriyor, Ada Byron'ın bilgisayarın yaratıcı bir şekilde düşünemediği ve beyin tarafından kullanılan ana algoritmaları bulamadığı ve sonrasında bunları bir bilgisayarı beyne dönüştürmek için kullanamadığına ilişkin çıkarımının ötesine geçmek. Alan Turing hedefini 1950 yılında yazdığı "Hesaplama Mekanizmaları ve Zekâ" adlı makalesinde tanıttı ki bu makale, şu anda ünlü olan yapay zekânın insan seviyesinde zekâya ulaşıp ulaşamadığını belirlemek için kullanılan Turing testini içeriyor.

1956'da von Neumann Yale Üniversitesi'nde yapılan prestijli Silliman konuşma serisinde yer alması için bir dizi konuşma hazırladı. Kanserin yıkıcı etkileri yüzünden bu konuşmaları hiçbir zaman ne teslim etme ne de konuşmaların verileceği metni tamamlama şansı olmadı. Bu bitmemiş belge yine de, bence insanlığın en göz korkutucu ve önemli projesi olarak, parlak ve geleceği ima eden bir belge olarak kaldı. Makale, von Neumann'ın ölümünden sonra *Bilgisayar ve Beyin* (*The Computer and the Brain*) adıyla 1958'de yayımlandı. Son yüzyılın en parlak matematikçilerinden ve bilgisayar çağının önderlerinden birinin son işinin zekâyı incelemesi çok uygun düşüyor. Bu proje, insan beynine matematikçinin ve bilgisayar bilimcisinin bakış açısından yapılan en erken ciddi sorguydu. Von Neumann'dan önce bilgisayar bilimi ile sinirbilim aralarında köprü olmayan iki ada gibiydi.

Von Neumann tartışmasını bilgisayar ile insan beyni arasındaki benzerlikler ve farklılıkları belirterek başlatır. Bu metni yazdığı zaman göz önüne alındığında, durum oldukça kesin. Nöronların çıktılarının dijital olduğu-

nu –bir akson ya ateşledi ya da ateşlemedi– not etti. Bu durum o zamanlar belirgin olmaktan çok uzaktaydı zira çıktı analog bir sinyal olabilirdi. Dendritlerdeki nörona ve nöronun hücre gövdesine doğru giden işlenme ise analogdu ve von Neumann bunun hesaplamasını eşik değeriyle girdilerin ağırlıklı toplamı olarak tarif etti. Nöronların nasıl çalıştığına dair bu model bağlantıcılık alanına el verdi ki bu alan da sistemleri hem yazılım hem donanım için von Neumann'ın nöron modelini temel alarak inşa etti. (Bir önceki bölümde tarif ettiğim gibi, böyle ilk bağlantıcı sistem 1957'de Cornell'de bir IBM 704 bilgisayarında yazılım programı olarak Frank Rosenblatt tarafından von Neumann'ın taslak konuşmaları ulaşılabilir hâle geldikten hemen sonra yaratıldı.) Şu an, nöronların girdileri nasıl birleştirdiğine dair daha sofistike modellerimiz var fakat dendritteki girdilerin nörotransmiter konsantrasyonlarını kullanarak analog işlenmesi fikri geçerliliğini sürdürüyor.

Von Neumann bilgisayımın evrenselliği kavramını beyin ve bilgisayar arasındaki yapı blokları ve mimarisi radikal biçimde farklı görünse de von Neumann makinesinin bir beyindeki işlemi simüle edebileceği sonucuna varmak için uyguladı. Bununla birlikte, bu durumun tersi doğru olmuyor çünkü beyin bir von Neumann makinesi değil ve ona benzer depo edilen bir programı yok (gerçi beynimizde çok basit bir Turing makinesi simüle edebiliriz). Bu makinenin algoritmaları ya da yöntemleri kendi yapısı içinde dolaylıdır. Von Neumann doğru bir şekilde nöronların kendi çıktılarından şekiller öğrenebildiği sonucuna varıyor ki bizim şu an kurduğumuz şey kısmen dendrit gücünde kodlanmıştır. Von Neumann'ın zamanında bilinmeyen şey öğrenmenin ayrıca nöronlar arasındaki bağlantıların yaratılma ve yıkılması yoluyla gerçekleştiğiydi.

Von Neumann öngörülü bir şekilde sinirsel işlemenin son derece yavaş olduğunu –saniyede yüz hesaplama derecesinde– not ediyor fakat beyin bunu büyük çapta paralel işleme ile telafi ediyor – bir diğer belirgin olmayıp önemli olan kavrayış. Von Neumann beynin 10^{10} nöronunun her birinin (başlı başına doğru bir cevap; bugünkü tahminler 10^{10} ile 10^{11} arasında) aynı anda işlem yaptığını söylüyor. Aslında, bağlantıların her biri (nöron başına ortalama 10^3 ile 10^4 arasında) eş zamanlı hesaplama yapıyor.

Von Neumann'ın tahminleri ve sinirsel işlemeye dair yaptığı tanımlar sinirbilimin o zamanki ilkel seviyesini düşündüğümüzde kayda değer. Bu işin katılmadığım bir diğer tarafı ise von Neumann'ın beynin bellek kapasitesine dair yaptığı değerlendirmedir. Beynin hayatı boyunca her girdiyi tanıdığını öne sürer. Von Neumann ortalama 60 yıllık bir ömür varsayıyor, yani yakla-

şık $2x10^9$ saniye. Her nörona saniyede 14 girdi girdiğini (ki bu aslında büyüklükte en az üç kat daha az) ve 10^{10} nöronla beynin bellek kapasitesi için yaklaşık 10^{20} bit tahminine ulaşır. Gerçekte ise, daha önce not ettiğim gibi, düşüncelerimizin ve deneyimlerimizin yalnızca çok küçük bir kısmıdır ve bu anılar alt seviyelerde bit şeklinde değil (örneğin video görüntüsü) fakat yüksek seviye şekil dizileri olarak saklanırlar.

Von Neumann beyindeki her mekanizmayı tarif ettikçe görünür farklılıklarına rağmen modern bilgisayarın aynı şeyi nasıl başardığını gösterir. Beynin analog mekanizmaları dijital olanlar tarafından simüle edilebilir çünkü dijital bilgisayım analog değerleri belirli bir kesinlik oranıyla (ve analog bilginin beyindeki kesinliği biraz düşüktür) taklit edebilir. Beynin muazzam paralelliği de bilgisayarların seri bilgisayımdaki ciddi hız avantajı düşünüldüğünde simüle edilebilir (zamanla oldukça genişleyen bir avantaj). Buna ek olarak, bilgisayarlarda paralel von Neumann makineleri kullanarak paralel işleme yapabiliriz – ki bu tam olarak bugünkü süperbilgisayarların çalışma şeklidir.

Von Neumann, nöronların bilgisayımsal hızları düşük olsa da insanların ne kadar hızlı karar verebildiğini düşündüğümüzde, beynin yöntemleri uzun ardışık algoritmaları içeremez diyerek yazısını bitirir. Üçüncü kaleci topu alıp ikinci kalecidense birinciye atmaya karar verdiğinde bu kararı saniyenin küçük bir kısmında yapar ki bu da her nöronun birçok devreye girmesine yeterlidir. Von Neumann beynin kayda değer gücünün eş zamanlı bilgi işleyebilen 100 milyar nörondan geldiği sonucuna varırken haklıdır. Daha önce bahsettiğim gibi, görsel korteks entelektüel görsel yargıları sadece üç ya da dört sinirsel devirde yapar.

Beyinde hatırı sayılır derecede plastisite vardır ki bu öğrenmemizi sağlar. Ancak bir bilgisayarın plastisitesi çok daha fazladır, zira bilgisayar yazılımını değiştirerek yöntemlerini tamamen yeniden yapılandırabilir. Dolayısıyla, bu açıdan, bir bilgisayar beyni taklit edebilir fakat tersi söz konusu değildir.

Von Neumann beynin kapasitesinin büyük paralel düzenini zamanındaki (birkaç) bilgisayarla kıyasladığında beynin çok daha fazla belleğe ve hıza sahip olduğu aşikârdı. Şimdiye kadar ilk süper bilgisayar, işlevsel bir şekilde insan beyninin simüle edilmesi için gereken hızla ilgili (saniyede yaklaşık 10^{16} işlem) daha ılımlı tahminlerle eşleşen şartnameleri başarmak için inşa edildi.[5] (Bu seviyede bilgisayımın 2020'lerin başında 1.000 Dolar'a mal olacağını tahmin ediyorum.) Belleğe bakıldığında daha bile yakınız. Von Neumann'ın yazdığı metin bilgisayar tarihinde kayda değer şekilde erken tarihli

olsa da von Neumann insan zekâsının hem donanım hem de yazılımının en sonunda anlamlı gelmeye başlayacağına güveniyordu ki bu durum, onu konuşmaları hazırlamaya teşvik etmişti.

Von Neumann gelişimin hızlanan adımlarının ve insanlığın geleceği için temel anlamının da oldukça farkındaydı. 1957'de ölümünden bir yıl sonra matematikçi Stan Ulam 1950'lerin başında von Neumann'ın söylediği bir şeyi alıntıladı: "teknolojinin başından beri ivmelenen gelişimi ve insanların hayat tarzlarındaki değişimler temel bir tekilliğin yarış tarihine yaklaştığını gösterir ki bunun ötesinde insan işleri, onları bildiğimiz hâliyle, devam edemez." Bu "tekillik" sözcüğünün insanın teknolojik tarihi konusunda bilinen ilk kullanımıdır.

Von Neumann'ın temel içgörüsü bilgisayarla beyin arasında özgün bir benzerlik olduğu yönündeydi. Unutmayalım ki biyolojik insanın duygusal zekâsı da zekânın bir parçasıdır. Eğer von Neumann'ın görüşü doğruysa ve "biyolojik olmayan bir varlık, ikna edici bir şekilde biyolojik bir insanın zekâsını (duygusal dahil) tekrardan yaratıyorsa bilinç sahibidir (bir sonraki bölüme bakınız)" düşüncesini kabul edersek bir bilgisayarla *–doğru yazılımı kullanarak–* (bilinçli) zihin arasında temel bir benzerlik olduğu sonucuna varmamız gerekir. O zaman von Neumann haklı mı?

Bilgisayarların çoğu bugün tamamen dijitalken insan beyni dijital ve analog yöntemleri birleştiriyor. Ancak analog yöntemler basit ve rutin bir şekilde dijital olanlar tarafından istenilen bir kesinlik seviyesine uygun olarak yeniden yaratıldı. Amerikalı bilgisayar bilimci Carver Mead (1934 doğumlu) beynin analog yöntemlerini silikonda direkt olarak taklit edebileceğimizi gösterdi ve nöromorfik adını verdiği çiplerle de ispat etti.[6] Mead bu yaklaşımın nasıl analog yöntemleri dijital bir şekilde taklit etmekten binlerce kez daha etkili olabildiğini kanıtladı. Çok fazla tekrar edilen neokortikal algoritmayı kodladıkça Mead'in yaklaşımını kullanmak daha anlamlı gelecektir. Dharmendra Modha tarafından yürütülen IBM Bilişsel Hesaplama Grubu (Cognitive Computing Group) nöronları ve bağlantılarını taklit eden çipleri yeni bağlantılar kurma özelliğiyle birlikte gösterdi.[7] "SyNAPSE" adı verilen çiplerden biri 256 nöronun çeyrek milyon sinaptik bağlantıyla simüle edilmesini sağlıyor. Projenin hedefi 10 milyar nöron ve 100 trilyon bağlantıyı içeren –insan beynine yakın– yalnızca 1 kilowattlık güç harcayan simüle edilmiş bir neokorteks yaratmak.

Von Neumann'ın neredeyse yarım yüzyıl önce tarif ettiği gibi beyin oldukça yavaş fakat son derece paralel bir yapıdır. Bugünün dijital devreleri

beynin elektrokimyasal anahtarlarından en az 10 milyon kez daha hızlıdır. Aksine, beyindeki 300 milyon neokortikal şekil tanıyıcıların tamamı eş zamanlı işlem yapar ve bir katrilyon nöronlar arası bağlantının tümü potansiyel olarak aynı anda bilgisayım yapabilir. İnsan beynini başarılı bir şekilde modellemek amacıyla gerekli olan donanımı sağlamak için önemli bir nokta da toplam bellek ve bilgisayımsal iş çıkarma yeteneğinin gerekli olmasıdır. Beynin mimarisini direkt olarak kopyalamamıza gerek duymayız ki bu oldukça verimsiz ve esnek olmayan bir yaklaşım olurdu.

Bu donanım gerekliliklerinin neler olduğunu tahmin edelim. Çoğu proje neokortikal hiyerarşide gerçekleşen hiyerarşik öğrenme türü ile şekil tanımayı taklit etme girişiminde bulundular, hiyerarşik gizli Markov modelleri kullanan kendi işim dahil. Kendi deneyimlerimden yapacağım ılımlı bir tahmin biyolojik beynin neokorteksindeki tek bir şekil tanıyıcının bir devrini taklit etmek 3.000'e yakın hesaplama gerektirir. Çoğu simülasyon bu tahminin bir kısmıyla çalışır. Beynin saniyede 10^2 (100) devir ile çalışırken bu bir şekil tanıyıcı başına saniyede 3×10^5 (300.000) hesaplama olduğunu gösterir. 3×10^8 (300 milyon) şekil tanıyıcı tahminimle birlikte saniyede 10^{14} (100 trilyon) hesaplama elde ediyoruz, bu *The Singularity is Near* adlı kitabımda yaptığım tahminle tutarlı bir sayı. O kitapta beyni işlevsel bir şekilde simüle etmenin 10^{14} ile 10^{16} arasında saniyede gerçekleşen hesaplama (cps*) gerektireceğini söylemiş ve ılımlı olmak adına 10^{16} cps kullanmıştım. Yapay Zekâ uzmanı Hans Moravec'in tahmini tüm beyin içinde erken (başlangıç) görsel işlemenin bilgisayımsal gerekliliğinden anlam çıkarmayı temel alan 10^{14} cps'dir, ki bu tahmin de benim buradaki değerlendirmem ile uyuşuyor.

Alışılmış masaüstü bilgisayarları, performansları ciddi ölçüde bulut kaynakları kullanılarak artırılmış olsa da 10^{10} cps'ye ulaşabilir. En hızlı süper bilgisayar Japonya'nın K bilgisayarı şimdiden 10^{16} cps'ye ulaştı.[8] Neokorteks algoritmasının çok tekrarlı olduğu göz önüne alındığında nöromorfik çipleri, örneğin yukarıda bahsedilen IBM SyNAPSE çipleri, kullanma yaklaşımı da umut vaat ediyor.

Bellek gereksinimi konusunda, bir bağlantının 300 milyon şekil tanıyıcıdan birine gitmesi için yaklaşık 30 bite (neredeyse dört bayt) ihtiyaç duyarız. Eğer her şekil tanıyıcı için ortalama sekiz girdi düşünürsek tanıyıcı başına 32 bayta ihtiyacımız olur. Her girdiye bir baytlık ağırlık eklersek bu bizi 40 bayta getirir. Aşağı doğru olan bağlantılar için de bir başka 32 bayt eklersek

(*) Cps: calculations per second (hesaplama bölü saniye) – ç.n.

72 bayta ulaşırız. Yukarı ve aşağı doğru dallanmanın genellikle sekizden daha çok olacağını, fakat bu ağaç dallarının birçok tanıyıcı tarafından paylaşıldığını unutmayalım. Örneğin, "p" harfini tanımaya yüzlerce tanıyıcı dahil olabilir. Bunlar daha yüksek basamakta "p"yi içeren sözcük ve söz öbekleriyle ilgilenen binlerce tanıyıcıyı besleyecektir. Bununla birlikte, her "p" tanıyıcısı "p"yi içeren sözcük ve söz öbeklerinin hepsini besleyen bağlantılar ağacını tekrar etmez – her şekil tanıyıcı böyle bir bağlantılar ağacını paylaşır. Aynı şey aşağı doğru olan bağlantılar için de geçerlidir: "ELMA" sözcüğünden sorumlu olan tanıyıcı daha alt seviyedeki binlerce "A" tanıyıcısına "A"nın beklendiğini çünkü "E", "L" ve "M" gördüklerini söyleyecekler. Bu bağlantılar ağacı, gelecek düşük basamağı "A"nın beklendiğine dair bilgilendirmek isteyen her sözcük ya da sözcük öbeği tanıyıcısı için tekrar edilmez. Yine, bu ağaç paylaşılır. Bu sebeple her şekil tanıyıcısı için ortalama sekiz yukarı ve sekiz aşağı şekil tanıyıcı tahmini makul olur. Bu tahmini artırsak bile sonuçta oluşan tahminin büyüklük derecesi ciddi şekilde değişmez.

3×10^8 (300 milyon) şekil tanıyıcının her birinde 72 bayt ile toplam 2×10^{10} bayt kadar hafıza ihtiyacımız olur. Bu aslında alışılmış bilgisayarların geçebileceği, biraz makul bir sayıdır.

Bu tahminler büyüklük düzeyinde gereken kabataslak tahminleri sağlamak için planlandı. Dijital devrelerin yapısı gereği biyolojik neokortikal devrelerden yaklaşık 10 milyon kat daha hızlı olduğunu düşünürsek insan beynini paralelcilikle eşleştirmemize gerek yoktur – en makul paralel işleme (insan beynindeki trilyon katlık paralellik ile kıyasladığımızda) yeterli olacaktır. Gerekli bilgisayımsal ihtiyaçların ulaşılabilecek noktaya geldiğini görebiliriz. Beynin kendini tekrardan kablolaması –dendritler sürekli olarak yeni sinapslar yaratır– bağlantılar kullanılarak yazılımda taklit edilebilir, beynin plastisite yönteminden çok daha esnek olup, etkileyici olduğunu gördüğümüz fakat kısıtlı bir yöntem.

Fazlalık beyin tarafından çetin değişmez sonuçlara ulaşmak amacıyla yazılım emülasyonlarında kesinlikle kopyalanabilir. Bu tarz kendini düzenleyen hiyerarşik öğrenme sistemlerini optimize etmenin matematiği iyi anlaşıldı. Beynin düzeni optimum olmaktan uzak. Elbette, beynin düzenli olmasına gerek yoktu – sadece kendi kısıtlamalarını telafi edecek aletleri yaratarak eşik değerine ulaşacak kadar iyi olması gerekiyor.

İnsan neokorteksinin bir diğer kısıtlaması da çelişen fikirleri gözden geçiren ya da eleyen bir sürecinin olmamasıdır ki bu da insan düşüncesinin genellikle oldukça tutarsız olmasına sebep olur. Eleştirel düşünce denilen şe-

yi irdelemek için oldukça zayıf bir mekanizmamız var fakat bu beceri, edilmesi gerektiği kadar sık pratik edilmedi. Yazılım temelli bir neokortekste, tekrar gözden geçirmek üzere tutarsızlıkları ortaya çıkaran bir süreç inşa edebiliriz.

Tüm beyin bölgesinin tasarımı tek bir nöronun tasarımından daha kolaydır. Daha önce bahsedildiği gibi, modeller genellikle yüksek bir seviyede daha da basitleşir – bilgisayar örneğini düşünün. Transistör modellemek için yarı iletkenlerin detaylı fiziğini anlamamız gerekir ve gerçek bir tek transistörün altında yatan denklemler karmaşıktır. İki sayıyı çarpan dijital bir devre yüzlerce denklem gerektirir. Buna rağmen bu çarpma devresini bir ya da iki formülle çok basit bir şekilde modelleyebiliriz. Milyarlarca transistörden oluşan tam bir bilgisayar yönerge dizisi ve kayıt tanımı sayesinde modellenebilir ki bu bir avuç metin ve formülden oluşan yazılı sayfada tanımlanabilir. İşletim sistemi, dil derleyici ve çevirici program için yazılım programları orta derecede karmaşıktır fakat belirli bir programı modellemek –örneğin, hiyerarşik gizli Markov modellemesini temel alan bir konuşma tanıma programını– benzer şekilde sadece birkaç sayfa denklemle tarif edilebilir. Böyle bir tanımın hiçbir yerinde yarı iletken fiziği ya da bilgisayar mimarisinin detayları bulunamaz.

Benzer bir gözlem beyin için de doğrudur. Belirli, değişmez bir görsel özelliği tespit eden (örneğin yüz) ya da ses üzerinde bant geçiren süzgeçleme uygulayan (belirli bir frekans aralığına girdi gelmesini kısıtlamak) ya da iki olayın zamana bağlı yakınlığını değerlendiren neokortikal şekil tanıyıcısı, gerçek fizik ile nörotransmiterleri, iyon kanallarını ve sinirsel süreçlere dahil olan diğer sinaptik ve dendritik değişkenleri kontrol eden kimyasal ilişkilerden çok daha az belirli detayla tanımlanabilir. Tüm bu karmaşanın bir sonraki yüksek kavramsal basamağa geçmeden dikkatli bir şekilde incelenmesi gerekiyor olsa da bunun çoğu beynin işletim sistemi açığa çıktıkça basitleştirilebilir.

DOKUZUNCU BÖLÜM

Zihin Üzerine Düşünme Deneyleri

Zihinler basitçe beyinlerin yaptığı şeydir.

– Marvin Minsky, *The Society of Mind*

Zekâ makineleri oluşturulduğunda, onları zihin-madde, bilinçlilik, özgür irade ve benzeri konularda insan kadar şaşkın ve inatçı gördüğümüzde şaşırmamalıyız.

– Marvin Minsky, *The Society of Mind*

Bilinç kimdir?
Bilinçliliğin gerçek tarihi kişinin ilk yalanıyla başlar.

– Joseph Brodsky

Acı çekmek bilinçliliğin tek kaynağıdır.

– Fyodor Dostoyevsky, *Yeraltından Notlar*

Çiçekleri vasıtasıyla organik yiyecekler tüketen bir bitki türü vardır: bir sinek çiçeğe konduğunda taç yapraklar sineğin üzerine kapanır ve bitki sineği kendi sistemine alana kadar onu orada tutar; fakat taç yapraklar yemek için iyi olmayan hiçbir şey için kapanmaz; mesela bir yağmur damlası ya da bir çubuk parçası hiç umurlarında olmayacaktır. Garip! Böylesine bilinçsiz bir şeyin kendi çıkarları için böylesine keskin bir gözünün olması. Eğer bu bilinçsizlik ise bilincin faydası nerede?

– Samuel Butler, 1871

Beyni belirli seviyelerde becerilere sahip olabilen bir bütün olarak inceliyorduk. Ancak bu bakış açısı, özünde, bizleri resimden çıkarıyor. Beynimizde yaşıyor gibi görünüyoruz. Öznel hayatlarımız var. Şimdiye kadar tartıştığımız, beyne nesnel bakış duygularımızla, deneyimler edinen kişi olma hissimizle nasıl ilişki kuruyor?

İngiliz filozof Colin McGinn (1950 doğumlu) tartışırken "bilinçlilik en titiz düşünürü bile boşboğaz anlamsızlığa indirgeyebilir" yazar. Bunun sebebi insanların genellikle konuyla ilgili üzerine düşünülmemiş ve tutarsız fikirlerinin olmasıdır.

Çoğu gözlemci bilinçliliği bir çeşit performans olarak düşünür – örneğin, kendini yansıtma kapasitesi ya da kendi düşüncelerini anlama ve açıklama becerisi. Bunu kişinin kendi düşünmesini düşünebilmesi olarak tanımlayabilirim. Tahminen, bu beceriyi değerlendirmek için bir yol bulabilir ve sonra bu testi bilinçli şeyleri bilinçsiz şeylerden ayırmak için kullanırız.

Bununla birlikte, bu yaklaşımı uygulamaya çalışırken hemencecik başımız derde girer. Bebek bilinçli midir? Bir köpek? Bunlar kendi düşünme süreçlerini tanımlamada çok iyi değiller. Bazı insanlar bebekler ve köpeklerin tam da kendilerini anlatamadıkları için bilinçli olduklarını düşünüyorlar. Pekâlâ Watson olarak bilinen bilgisayara ne demeli? Watson verdiği bir cevaba nasıl ulaştığını gerçekten anlatan bir moda sokulabiliyor. Kendi düşünmesinin bir modelini içerdiği için, bebekler ve köpekler bilinçli değilken Watson bilinçli midir?

Bu soruyu daha fazla çözümlemeden bununla ilişkili olan en önemli ayrımı yansıtmak önemlidir: Bilimden bulduklarımınız karşısında tamamen bir felsefe konusu olarak kalan şey nedir? Bir görüş, henüz bilimsel yöntemle incelenemeyen sorular için felsefenin başarıya giden yolun yarısı olduğu yönünde. Bu bakış açısına göre bilim bir dizi soruyu yeterli bir şekilde çözebilecek kadar ilerlediğinde filozoflar başka sorunlar üzerinde yoğunlaşabilirler ta ki bilim bu sorunları da çözene dek. Bu görüş, bilinçlilik konusuyla ilgilendiğimizde ve özellikle "bilinç nedir ve kimdir?" sorusunu sorduğumuzda yaygın görülüyor.

Filozof John Searle'ün şu yargılarını düşünün: "Beyinlerin belirli biyolojik mekanizmalarla bilinçliliğe sebep olduğunu biliyoruz... Önemli olan burada bilinçliliği sindirim, emzirme, fotosentez ya da mitoz gibi biyolojik bir süreç olarak görmek... Beyin bir makinedir, biyolojik bir makinedir fakat diğer makineler gibi bir makinedir. Dolayısıyla ilk adım beynin bunu nasıl yaptığını anlamaktır ve sonrasında bilinçliliğe sebep olan eş verimlilikteki mekanizmayı yapay bir makinede inşa etmektir."[1] İnsanlar bu alıntıları görünce şaşırıyor çünkü Searle'ün kendini bilinçlilik gizemini Ray Kurzweil gibi indirgeyici görüşe sahip kişilere karşı korumaya adadığını düşünüyorlar.

Avusturalyalı filozof David Chalmers (1066 doğumlu) özünde tanımlanamaz olan kavramı saptamanın zorluğunu açıklamak için "çetin bilinçlilik sorunu" diye bir terim ortaya attı. Bazen kısa bir sözcük öbeği bütün bir dü-

şünce okulunu o kadar iyi kapsar ki sembolik hâle gelir (örneğin Hannah Arendt'in "kötülüğün sıradanlığı" terimi). Chalmers'ın ünlü formülasyonu da bunu çok iyi şekilde başarıyor.

Bilinçliliği tartışırken gözlemlenebilir ve ölçülebilir niteliklerle ilgilenmeye girmek yani bilinçli olmak ile ilişkilendirmek çok kolay bir hal alır fakat bu yaklaşım fikrin temel özünü kaçırıyor. Az önce üstbiliş kavramından bahsettim –kişinin kendi düşünmesini düşünmesi fikri– üstbiliş bilinçle karşılıklı ilişkisi olan bir şeydir. Diğer gözlemciler duygusal zekâ ya da ahlâki zekâ ile bilinci bir araya getirir. Ancak yine de sevme duygusunu açıklama becerisi, şakayı anlamak ya da seksi olmak basit performans türleridir – belki de etkileyici ve zeki fakat yine de gözlemlenemeyen ve ölçülemeyen beceriler (bunlara nasıl değer biçeceğimizi tartışsak da). Beynin bu tarz görevleri nasıl başardığını ve bu görevleri yaptığımızda beyinde neler olup bittiğini anlamak Chalmers'ın "basit" bilinç sorusunu oluşturur. Elbette, bu "basit" soru belki de çağımızın en zor ve en önemli bilimsel arayışıdır. Chalmers'ın "çetin" sorusu öyle zordur ki tarifi yoktur.

Bu ayrımı desteklemek amacıyla Chalmers zombileri içeren bir düşünme deneyi sunar. Zombi, bir insan gibi hareket eden fakat öznel deneyimi olmayan bir varlıktır – yani zombinin bilinci yoktur. Chalmers zombileri kavrayabildiğimiz için en azından mantıksal olarak mümkün olduğu için kullanır. "Normal" insanların ve zombilerin olduğu bir kokteyl partisinde olduğunuzu düşünün, aradaki farkı nasıl açıklardınız? Bu katıldığınız bir kokteyl partisine benziyor olabilir.

Çoğu insan bu soruya bireyleri sorgulayacağını söyleyerek cevap veriyor ve insanların olaylara karşı gösterdiği duygusal tepkilerine ve fikirlerine ulaşmak istiyorlar. Bir zombinin öznel deneyimlerinin eksikliğini belirli duygusal tepkilerin eksikliği yoluyla dışa vuracağına inanıyorlar. Ancak buna benzer bir cevap, düşünme deneyinin varsayımlarına değer biçme konusunda başarısız olur. Duyguları olmayan bir insanla karşılaşırsak (örneğin bazı otizm türlerinde olduğu gibi, belirli duyguları eksik olan kişiler) ya da duygusal bir insan olarak tatmin edici olmayan bir robot veya avatarla karşılaşırsak bu varlığın zombi olmadığını anlarız. Hatırlayın: Chalmers'ın varsayımına göre zombinin cevap verme yeteneği tamamen normal, duygusal hareket etme becerisi de dahil; zombinin sadece öznel deneyimleri yok. Sonuç olarak, bir zombiyi tanımlamanın hiçbir yolu yok çünkü tanımsal olarak zombinin doğal davranışıyla ilgili görünürde bir belirti yok. O zaman bu farklılığın olmadığı bir ayrım mıdır?

Chalmers çetin soruyu cevaplamak için girişimde bulunmaz fakat bazı ihtimalleri destekler. Bunlardan biri bilinçliliğin fiziksel dünyada var olmadığını ayrı bir ontolojik gerçeklikte varlık sürdürdüğü bir ikicilik (düalizm) formudur. Bu ifadeye göre insanın yaptıkları beynindeki süreçlere bağlıdır. Beyin nedensel olarak kapalı olduğu için bir insanın her hareketini, düşünceleri dahil, bu süreçler üzerinden tamamen açıklayabiliriz. O zaman bilinçlilik, özünde, başka bir âlemde ya da en azından fiziksel dünyadan ayrı bir mülk şeklinde varlığını sürdürür. Bu açıklama zihnin (yani beyinle ilişkilendirilen bilinç özelliğinin) nedensel olarak beyni etkilemesine izin vermez.

Chalmers'ın eğlendirdiği ve sıklıkla panprotopsikeizm adı verilen, mantıksal olarak ikicilik kavramından ayrı olmayan bir diğer olasılık da bütün fiziksel sistemlerin bilinçli olduğunu düşünür fakat yine de insan diyelim ki bir lamba düğmesinden daha zekidir. Bir insan beyninin hakkında bilinçli olduğu şeylerin sayısının bir lamba düğmesininkinden daha fazla olduğuna kesinlikle katılıyorum.

Kendi görüşüm, ki bu belki de panprotopsikeizmin bir alt okuludur, bilinçliliğin karmaşık fiziksel bir sistemin boy gösteren bir özelliği olduğudur. Bu görüşte bir köpek de bilinçlidir fakat bir insandan daha az bilinçlidir. Bir karınca bir seviye bilinçliliğe sahiptir fakat bu bilinç seviyesi köpeğinkinden daha azdır. Karınca kolonisinin ise bir karıncadan daha yüksek bir bilinçlilik seviyesinde olduğunu söyleyebiliriz; koloni tabii ki yalnız bir karıncadan daha zekidir. Bu hesaba göre, insan beyninin karmaşasını başarılı bir şekilde taklit edecek bir bilgisayar ayrıca insanda var olan bilinçlilik seviyesinin aynısına da sahip olabilirdi.

Bilinçlilik düşüncesini kavramsallaştırmanın bir diğer yolu da "*qualia*"ya sahip olan sistemlerdir. Pekâlâ *qualia* nedir? Bu terimin bir tanımı "bilinçli deneyimler"dir. Ancak bu, bizi pek uzağa taşımıyor. Şu düşünme deneyini düşünün: bir sinirbilimci tamamen renk körüdür – (benim gibi) belirli yeşil ve kırmızı gölgelerini birbirine karıştıran türden bir renk körü değil de daha çok renk körü olan kişinin tamamen siyah beyaz bir dünya yaşadığı türden bir renk körlüğü. (Bu senaryonun daha uç bir örneğinde kişi hiçbir rengi görmedi, tamamen siyah beyaz bir dünyaya doğdu.) Buna rağmen çoğunlukla rengin fiziğini –sinirbilimcimiz kırmızının dalga boyunun 700 nanometre olduğunu biliyor– ve renkleri normal bir şekilde gören bir kişinin yaşadığı nörolojik süreçleri çalışıyor, dolayısıyla beynin rengi nasıl işlediği hakkında çok şey biliyor. Renk hakkında normal insanların bildiğinden daha çok şey biliyor. Eğer sinirbilimciye yardım etmek isteseydiniz ve gerçek

"kırmızı" deneyiminin nasıl olduğunu anlatmak isteseydiniz bunu nasıl yapardınız?

Belki de ona Nijeryalı şair Oluseyi Oluseun'un "Kırmızı" adlı şiirinden bir parça okurdunuz:

Kırmızı, kanın rengi,
yaşamın simgesi
Kırmızı tehlikenin rengi
ölümün simgesi

Kırmızı, güllerin rengi
güzelliğin simgesi
Kırmızı, aşıkların rengi
birliğin simgesi

Kırmızı, domatesin rengi
sağlığın simgesi
Kırmızı, sıcak ateşin rengi
ateşli tutkunun simgesi

Bu aslında insanların kırmızıyla ilişkilendirdiği şeyler hakkında iyi fikir verebilirdi ve hatta sinirbilimcinin renkle ilgili bir konuşmada yerini korumasını sağlayabilirdi. ("Evet kırmızıyı çok severim, çok sıcak ve ateşli bir renk ve bu yüzden tehlikeli bir şekilde çok güzel...") Eğer isteseydi insanları kırmızıyı deneyimlediğine inandırabilirdi fakat dünyadaki tüm şiirler gelse sinirbilimcinin bu deneyimi yaşamasını sağlayamazdı.

Benzer şekilde, suya hiç girmemiş birine dalmanın nasıl hissettirdiğini nasıl açıklardınız? Tekrar şiire başvurmamız gerekir fakat deneyimin kendisini açıklamamızın gerçekten hiçbir yolu yok. Bu deneyimler *qualia* olarak addettiğimiz şeylerdir.

Okuyucuların çoğu kırmızı rengini deneyimledi. Ancak sizin kırmızı deneyiminizle benim maviye baktığımda edindiğim deneyimle aynı olmadığını nasıl bilirim? İkimiz de kırmızı bir nesneye bakıp kesinlikle kırmızı olduğunu ifade ederiz fakat bu, soruyu cevaplamaz. Ben sizin maviye baktığınızda deneyimlediğinizi deneyimliyor olabilirim fakat ikimiz de kırmızı şeylere kırmızı demeyi öğrendik. Tekrar şiir değiş tokuşuna başlayabilirdik ancak bunlar sadece insanların renklerle kurduğu çağrışımları yansıtmak olurdu; şiirler *qualia*'nın gerçek doğasından bahsetmez. Aslında doğuştan görme engelli insanlar renklerle ilgili çok fazla şey okudu zira edebiyat bu gibi referanslarla dolu ve bu sebeple doğuştan görme engelli insanlarda da bir çeşit renk dene-

yimi var. Doğuştan görme engelli insanların kırmızı deneyimi gözleri gören insanlarınkiyle nasıl kıyaslanabilir? Bu soru siyah-beyaz dünyada yaşayan sinirbilimciyi ele alan soruyla gerçekten aynıdır. Hayatımızda böylesine yaygın olguların, aynı *qualia*'yı deneyimliyor muyuz gibi basit bir doğrulama yapacakken, tamamen tanımlanamaz olması kayda değer.

Qualia'nın bir diğer tanımı deneyimin hissiyatıdır. Bununla beraber, bu tanım da yukarıda bilinçliliği tanımlama girişimlerimizdeki gibi daireseldir çünkü "hissiyat", "deneyimlemek" ve "bilinçlilik" eş anlamlı sözcüklerdir. Bilinçlilik ve bilinçlilikle yakın ilişkili *qualia* sorusu temel belki de nihai felsefi sorulardır (kimlik meselesi bundan daha önemli olabilir ki bu bölümün son kısmında bu meseleyi tartışacağım).

O zaman bilinçliliğe gelince, soru tam olarak *nedir*? Soru şudur: Kim ya da ne bilinçlidir? Bu kitabın başlığında "beyin" yerine "zihin" sözcüğünü kullanıyorum çünkü zihin bilinçli bir beyindir. Zihnin özgür iradesi ve kimliği vardır da diyebilirdik. Bu meselelerin kendi içinde felsefi olduğu savı aşikâr değildir. Bu soruların bilim yoluyla asla tamamen çözülemeyeceğini düşünüyorum. Diğer bir deyişle, felsefi varsayımlarda bulunmadan bu soruları çözebilecek, üzerine düşünüp taşınacağımız çürütülebilir bir deney yoktur. Bir bilinçlilik algılayıcı inşa edersek Searle bunun biyolojik nörotransmiterler sıçrattığını bulup ortaya çıkarmak isterdi. Amerikalı filozof Daniel Dennett (1942 doğumlu) alt özdek üzerinde daha esnek olurdu fakat sistemin kendi modelini ve kendi performansını içerip içermediğini de belirlemek isterdi. Bu görüş benimkine daha yakın düşüyor ancak özünde bu görüş de hâlâ felsefi bir varsayımdır.

Düzenli olarak, bilinçliliği bazı ölçülebilen fiziksel niteliklere bağlayan bilimsel teorilerin olduğunu iddia eden öneriler sunuluyor – Searle bunlara "bilinçliliğe sebep olan mekanizmalar" olarak bakıyor. Amerikalı biliminsanı, filozof ve anestezi uzmanı Stuart Hameroff (1947 doğumlu) "hücre iskeletini koruyan liflerin bilinçliliğin köküdür" diyor.[2] Hameroff burada mikrotübül adı verilen, her hücrede bulunan ince ipliklerden bahsediyor (buna nöronlar da dahil fakat sadece nöronlar kastedilmiyor) ki bu iplikler her hücreye yapısal bütünlük verir ve hücre bölünmesinde rol oynarlar. Bu meseleye dair yazdığı kitaplar ve makaleler detaylı betimlemeler ve denklemler içerir ki bunlar da mikrotübüllerin hücre içindeki bilgi-işlemde rol oynamasının mantıklı olduğunu açıklar. Mikrotübüllerin bilinçlilik ile bağlantısı bir inanç sıçraması gerektirir ki temelde, dini doktrinlerde dolaylı olarak anlaşılan inanç sıçramasından yani tanrının belirli varlıklara (genellikle insanlara) bahşettiği

bilinci (bazen "ruh" olarak anılan) betimleyen inanç sıçramasından farklı değildir. Hameroff'un görüşü için, özellikle bu iddia edilen hücresel hesaplamanın anestezi süresince durdurulduğunu destekleyen sinirsel süreçlerin gözlemine dair birkaç zayıf kanıt sunuldu. Ancak bu, anestezi süresince birçok sürecin durduğu göz önüne alındığında güçlü bir ispat olmaktan çok uzak bir gözlemdir. Anestezi altındayken kişilerin kesinlikle bilinçsiz olduğunu söyleyemeyiz. Tüm bildiğimiz, anestezi sonrasında insanların deneyimlerini hatırlamadıklarıdır. Bu bile evrensel değildir çünkü bazı insanlar –kesin bir şekilde– anestezi altındaki deneyimlerini örneğin cerrahla olan konuşmalarını hatırlar. Anestezi farkındalığı adı verilen bu durumun Amerika Birleşik Devletleri'nde yılda yaklaşık 40.000 kez olduğu tahmin ediliyor.[3] Ancak bu bile bir kenara koyarsak bilinç ve bellek tamamen farklı kavramlardır. Geniş çapta tartıştığım üzere eğer geçen gün yaşadıklarımı dakikası dakikasına düşünürsem ciddi boyutta duyusal izlenim edindiysem de bunların çok azını hatırlarım. O zaman bütün gün gördüğüm ve duyduğum şeyleri yaşarken bilinçsiz miydim? Bu aslında iyi bir soru ve cevabı pek açık değil.

İngiliz fizikçi ve matematikçi Roger Penrose (1931 doğumlu) bilincin kaynağını sunarken farklı bir inanç sıçraması aldı ki kendisi de mikrotübüllerle ilgileniyor –özellikle mikrotübüllerin sözde kuantum hesaplama becerileriyle. Penrose'un muhakemesi, açık bir şekilde belirtilmese de, bilincin gizemli olduğu ve kuantum olayının da gizemli olduğu bu yüzden bu ikisinin bir şekilde bağlantılı olması gerektiğidir.

Penrose analizine Turing'in çözülemeyen problemler üzerine teoremleri ve Gödel'in bununla ilişkili eksiklik teoremiyle başladı. Turing'in öncülü (ki bu öncül Sekizinci Bölüm'de oldukça detaylı bir şekilde tartışıldı) Turing makinesi tarafından ifade edilebilen fakat Turing makinesi tarafından çözülemeyen algoritmik sorunlardı. Turing makinesinin bilgisayımsal evrenselliği sayesinde bizler, bu "çözülemeyen problemler"in herhangi bir makine tarafından çözülemeyeceği sonucuna varabiliriz. Gödel'in eksiklik teoremi herhangi bir makine tarafından çözülemez. Bu teorem sayıları içeren varsayımları kanıtlama becerisi göz önüne alındığında benzer bir sonuç verir. Penrose'un argümanı insan beyninin bu çözülemeyen sorunları çözebileceğidir ve bu yüzden insan beyni gerekirci bir makinenin örneğin bir bilgisayarın yapamadığı şeyleri yapabilir. Penrose'u teşvik eden şey, en azından bir parçası, insanları makinelerden yüceltmektir. Ancak merkezi öncülü –yani insanların Turing'in ve Gödel'in çözülemeyen problemleri çözebilmesi– ne yazık ki basit bir şekilde doğru değildir.

Çözülemeyen ünlü sorunlardan biri meşgul kunduz problemi adı verilen sorundur ve: Belirli evre sayısına sahip bir Turing makinesinin bandına yazabileceği en çok 1 sayısını bulunuz. O zaman, *n* sayısının meşgul kunduzunu belirlemek için *n* tane evreye sahip bütün Turing makinelerini inşa ederiz (ki bu evreler de, eğer *n* sonlu bir sayı ise, sonlu olacaktır) ve sonra, sonsuz bir döngüye giren Turing makinelerini hariç tutarak, bu makinelerin bantlarına en çok kaç tane 1 yazdığını belirleriz. Bu çözülemez çünkü Turing makinelerinin tüm *n*-evresini simüle etmek istediğimizden simülatörümüz Turing makinelerinden birini simüle etmeye giriştiğinde sonsuz bir döngüye girecektir. Bununla birlikte, bilgisayarların meşgul kunduz fonksiyonunu belirli *n*'ler için yapabildiği ortaya çıkar. Dolayısıyla bilgisayarlar kullanan insanlar yardım almayan insanlara göre daha çok *n*'li problem çözdü. Bilgisayarlar genellikle Turing'in ve Gödel'in çözülemeyen problemlerini çözmede insanlardan daha iyidir.

Penrose insan beyninin deneyüstü becerilerini hipotezini kurduğu beyinde gerçekleşen kuantum hesaplaması arasında bağlantı kurdu. Penrose'a göre bu sinirsel kuantum etkileri bir şekilde, doğası gereği bilgisayarlar tarafından başarılamazdı dolayısıyla insan düşünmesi doğal bir sınıra sahiptir. Aslında, yaygın elektronik aletler kuantum etkilerini kullanır (transistörler elektronların bariyerler arasında kuantum tünellemesine dayanır); beyindeki kuantum hesaplaması hiç gösterilmedi, insanın akli performansı klasik hesaplama yöntemleriyle tatmin edici bir şekilde gösterilebilir ve herhangi bir olayda hiçbir şey bizi bilgisayarlara kuantum hesaplaması uygulamaktan alıkoyamaz. Bu itirazların hiçbiri Penrose tarafından ele alınmadı. Eleştirmenler kuantum hesaplaması için beynin sıcak ve dağınık bir yer olduğuna işaret ettiğinde Hameroff ve Penrose güçlerini birleştirdiler. Penrose nöronların içinde olası şekilde kuantum hesaplamasını destekleyebilecek mükemmel bir araç buldu – Hameroff'un nöron içinde bilgi-işlemin bir parçası olduğundan şüphelendiği mikrotübüller. Dolayısıyla Hameroff-Penrose tezi nöronlardaki mikrotübüllerin kuantum hesaplaması yaptığını ve bunların bilinçten sorumlu olduğunu ifade eder.

Bu tez de eleştirildi, örneğin, İsveçli Amerikalı fizikçi ve kozmolog Max Tegmark (1967 doğumlu) tarafından. Tegmark mikrotübüllerdeki kuantum olaylarının yalnızca 10^{-13} saniye dayanabildiğini belirledi ki bu herhangi bir öneme sahip sonuçları hesaplamak için de sinirsel süreçleri etkilemek için de oldukça kısa bir süre. Kuantum hesaplamasının klasik hesaplamadan üstün beceriler gösterebileceği belirli problem türleri vardır –örneğin,

şifreleme kodlarının yüksek sayılar üzerinden çarpanlarına ayrılması. Bununla birlikte, yardım almayan insan düşünmesinin bu soruları çözmede berbat olduğu kanıtlandı ve bu alandaki klasik bilgisayarlarla bile eşlenemedi ki bu da beynin herhangi bir kuantum hesaplama becerisi göstermediğini öneriyor. Dahası, kuantum hesaplaması gibi bir olgu beyinde var olsaydı dahi bu, bilinçle bağlanamazdı.

İNANCINIZ OLMALI

> İnsan ne yaman bir yapı insan! Akıl gücüyle ne soylu bir varlık! Düşünme yetenekleri ne sonsuz! Duruşu, kımıldanışı ne anlamlı, ne güzel! Ne melekçe davranışları, ne Tanrıca kavrayışları var! Evrenin gözbebeği insan, canlıların baş tacı! Ama benim için nedir insan, bu özü toz yaratık?*
>
> – HAMLET, Shakespeare'in *Hamlet*'inden

Gerçeklik bu teorilerin hepsinin inanç sıçraması olmasıdır ve bilinç ile ilgilendiğimizde yol gösterici prensibin "inancınız olmalı" olduğunu eklemek isterim – yani her birimiz neyin ve kimin bilinçli olduğunu, kimin ve neyin bilinçli varlıklar olduğunu belirlemek için bir inanç sıçramasına ihtiyaç duyarız. Aksi takdirde sabahları uyanamayız. Ancak, bu konudaki temel inanç sıçraması ihtiyacı için dürüst olmalı ve belirli sıçramamızın neyi yansıttığı konusunda kendimizi yansıtmalıyız.

İnsanlar çok farklı sıçramalara sahiptir fakat izlenimler çok değişmez. Doğa hakkındaki bireysel felsefi varsayımlar ve bilinç kaynağı hayvan haklarından kürtaja kadar değişen konulardaki anlaşmazlıkların altında yatar ve hatta gelecekte makine hakları üzerine daha çekişmeli anlaşmazlıklara sebep olacak. Benim nesnel öngörüm gelecekteki makinelerin bilinçli görüneceği ve kendi *qualia*'ları hakkında konuştuklarında biyolojik insanlar için inandırıcı olacağı yönündedir. Makineler geniş aralıkta üstü kapalı, bilindik duygusal işaretler sergileyecekler; bizi güldürecek ve ağlatacaklar, hatta bilinçli olduklarına inanmadığımızı söylersek bize kızacaklar. (Çok zeki olacaklar dolayısıyla bunun olmasını istemeyiz.) Onların bilinçli kişiler olduğunu kabul edeceğiz. Benim inanç sıçramam şudur: makineler *qualia*'larından ve bilinçli deneyimlerinden konuşurken ikna edici olmayı başardıklarında aslında bilinçli kişiler oluşturacaklar. Bu konuma şu düşünme deneyi sayesinde geldim: Ge-

(*) Sabahattin Eyüboğlu çevirisi – ç.n.

lecekte, duygusal tepkileriyle tamamen ikna eden bir varlıkla tanıştığınızı düşünün (bir robot ya da avatar). Şakalarınıza inandırıcı bir şekilde gülüyor ve sonrasında sizi güldürüp ağlatıyor (fakat çimdikleyerek değil). Sizi korkularından ve arzularından bahsederken samimiyetine inandırıyor. Her şekilde bilinçli görünüyor. Aslında, bir insan gibi görünüyor. Onu bilinçli bir kişi olarak kabul eder miydiniz?

Eğer ilk tepkiniz bir şekilde makinenin biyolojik olmayan doğasına ihanet ettiğini tespit etmek ise bu varsayımsal durumda yani kendisinin tamamen ikna edici olduğunu tesis ettiği durumda varsayımlara bağlı kalmıyorsunuz. Bu varsayımla birlikte, eğer makine yıkımla tehdit edildiyse ve bir insanın yapacağı gibi terörle cevap verdiyse, insanı içeren böylesi bir sahneye tanık olduğunuzda aynı anlayışla karşılık verir miydiniz? Kendim için cevabım evet ve inanıyorum ki neredeyse tüm insanlar için değilse de felsefi bir tartışmada iddia ettikleri ne olursa olsun cevap çoğu insan için aynıdır. Yine, burada vurgu "inandırıcı" sözcüğündedir.

Elbette böylesine biyolojik olmayan bir varlıkla ne zaman karşılacağımız hatta karşılaşıp karşılaşmayacağımız konularında anlaşmazlık var. Benim istikrarlı tahminim bunun 2029 yılında gerçekleşeceği ve 2030'larda rutin hâle geleceğidir. Ancak zaman çerçevesini bir kenara bırakırsak inanıyorum ki en nihayetinde bu varlıkları bilinçli olarak görmeye başlayacağız. Bu makinelere şimdiden, hikâyelerde ya da filmlerde onlarla karşılaştığımızda nasıl davrandığımızı bir düşünün: *Yıldız Savaşları* filmlerinden R2D2, *Yapay Zekâ* filminden David ve Teddy, televizyon dizisi *Uzay Yolu: Yeni Nesil*'den Data, *Kısa Devre* filminden Johnny 5, Disney'in *Vol-i* filminden WALL-E, ikinci ve daha sonraki *Terminatör* filmlerinden T-800 –(iyi) Terminatör– *Bıçak Sırtı* filminde Replika Rachael (ki kendisi insan olmadığının farkında değil), *Transformers* filmi, televizyon dizisi ve çizgi romanından Bumblebee ve *Ben, Robot* filminden Sonny. Bu karakterlerle biyolojik olmadıklarını bilsek bile empati kuruyoruz. Onları biyolojik insan karakterleri gördüğümüz şekilde, bilinçli kişiler olarak görüyoruz. Hissettiklerini paylaşıyor, başları derde girdiğinde onlar için endişeleniyoruz. Eğer biyolojik olmayan kurgusal karakterleri bu şekilde görüyorsak gelecekte, gerçek hayattaki biyolojik maddeleri olmayan zekâlara da bu şekilde davranacağız.

Biyolojik olmayan, *qualia*'ya olan tepkilerinde inandırıcı bir varlığın gerçekten bilinçli olduğu inanç sıçramasını kabul ediyorsanız bunun ne anlama geldiğini düşünün: bu bilinç bir varlığın toplam şeklinin ortaya çıkan özelliğidir sayesinde çalıştığı maddenin özelliği değil.

Nesnel ölçümler ve bu ölçümlerden çıkarabileceğimiz sonuçları temsil eden bilim ile *öznel* deneyimin eş anlamlısı olan bilinç arasında bir boşluk vardır. Bir varlığa besbelli ki basitçe, soru hâlinde "Bilincin var mı?" diye soramayız. Biyolojik olup olmadığını kesinleştirmek için "kafasının" içine baktığımızda aradığımız şeyin ne olduğunu belirlemek için felsefi varsayımlarda bulunmamız gerekir. Bir varlığın bilincinin olup olmadığı sorusu dolayısıyla bilimsel bir soru değildir. Buradan hareketle, bazı gözlemciler bilinçliliğin kendisinin gerçeklikte bir temeli olup olmadığını sorgulamaya devam etti. İngiliz yazar ve filozof Susan Blackmore (1951 doğumlu) "bilincin büyük ilüzyonu"ndan söz eder. Mem'in (ide) bilinç gerçekliğini onaylar – diğer bir deyişle, bilinç kesinlikle bir ide olarak varlığını sürdürür ve bununla ilgili yazılan ve konuşulan sözcüklere ilaveten ide ile ilgilenen oldukça fazla neokortikal yapı vardır. Ancak bunun, gerçek bir şeyi ima ettiği açık değildir. Blackburn bunu açıklamaya bilinçliliğin gerçekliğini zorunlu olarak inkâr etmediğini fakat kavramı saptamaya çalışırken karşılaştığımız ikilem çeşitlerini ifade etmeye giriştiğini söyleyerek devam eder. İngiliz psikolog ve yazar Stuart Sutherland (1927-1998) *Evrensel Psikoloji Sözlüğü*'nde şunu yazdı: "Bilinçlilik büyüleyici fakat tarif edilmesi zor bir olgudur; ne olduğunu, ne yaptığını ya da neden evrimleştiğini belirlemek imkânsızdır."[4]

Bununla birlikte, kavramı çok kolay bir şekilde sadece filozoflar arasında geçen nazik bir tartışmaymış gibi –ki laf arasında bu tartışma iki bin yıl öncesine Platon'un diyaloglarına dayanıyor– reddetmemek için tedbir alıyoruz. Bilinçlilik düşüncesi ahlâki sistemimizin altında yatar ve sonrasında yasal sistemimiz de genel olarak bu ahlâki inançlar üzerine inşa edilmiştir. Bir insan bir kişinin bilincini, cinayet eyleminde olduğu gibi, ortadan kaldırırsa bunu ahlâksız olarak görürüz ve bazı istisnalar dışında ciddi bir suç olarak değerlendiririz. Bu istisnalar da bilinç ile alakadardır zira polise ya da askeri güçlere belirli bilinçli insanları daha fazla insanı korumak adına öldürmeleri için yetkilendirebiliriz. Belirli istisnaların erdemini tartışabiliriz fakat altında yatan prensip doğru kalır.

Birine saldırmak ve onun acı çekmesine sebep olmak da genel olarak ahlâksız ve yasak olarak düşünülür. Kendi mülkümü tahrip etmem muhtemelen kabul olunur. Ancak sizin mülkünüzü sizin izniniz olmadan tahrip etmem muhtemelen kabul edilemez fakat sizin mülkünüze zarar verdiğim için değil de mülkün sahibi olarak size zarar verdiğim için kabul edilmez. Öte yandan, benim mülküm örneğin bir hayvan gibi bilinçli bir varlığı içeriyorsa ben de hayvanın sahibi olarak özgür ahlâki ya da yasal olarak istediğimi yapamam – örneğin, hayvanlara işkenceye karşı yasalar vardır.

Ahlâki ve yasal sistemimizin çoğu varlığı korumayı ve bilinçli varlıkların gereksiz acı çekmesini önlemeyi temel aldığı için sorumlu yargılarda bulunmak amacıyla kimin bilinçli olduğu sorusuna cevap vermemiz gerekir. Dolayısıyla bu soru, kürtaj gibi bir meselenin etrafını saran bir anlaşmazlıktan da belli olduğu gibi, basitçe entelektüel tartışmanın konusu değildir. Kürtaj konusunun bilinçlilik meselesinden öteye gidebildiğini belirtmeliyim, zira kürtaj karşıtı kişilerin tartıştığı gibi embriyonun en nihayetinde bilinçli bir insana dönüşeceği potansiyeli, tıpkı komadaki bir kişinin yaşamayı hak ettiği gibi, bir koruma olması için yeterli bir sebep. Ancak temel olarak, mesele bir fetüsün ne zaman bilinçli hâle geldiğiyle alakalıdır.

Bilinçlilik algıları ayrıca genellikle çelişkili alanlardaki yargılarımızı etkiler. Kürtaj konusuna tekrar baktığımızda çoğu insan hamileliğin ilk günlerinde embriyonun yerleşmesini engelleyen ertesi gün hapı gibi bir ölçü ile son safha kürtajı arasında bir ayrım yapar. Farklılık son safhadaki fetüsün bilinçli olup olmamasıyla ilgilidir. Panprotopsikeist bir konum alınmazsa birkaç günlük embriyonun bilinçli olduğunu söylemek zordur fakat bu şartlarda bile bilinçlilik konusunda embriyo en basit hayvanın dahi altında kalır. Benzer bir şekilde, maymungillere yapılan kötü muamele ile böceklere yapılan kötü muameleye karşı çok farklı tepkiler veririz. Bugün, bilgisayar yazılımlarımıza eziyet etmek ve onların acı çekmesine sebep olmak konusunda (yazılımın bize acı çektirebilmesi konusunda geniş çapta yorum yapsak da) kimse endişelenmez fakat gelecekteki yazılımlar biyolojik insanların akılsal, duygusal ve ahlâki zekâsına sahip olduğunda bu gerçek bir endişe hâline gelecek.

Dolayısıyla ben, duygusal tepkilerinde bilinçli kişiler kadar inandırıcı olup biyolojik olmayan varlıkları kabul edeceğim ve tahminim, toplumun fikir birliğinin de bu varlıkları kabul edeceği yönündedir. Bu tanımın Turing testini geçebilen varlıkların ötesine uzandığını ki bunun da insan dilinde uzmanlaşmaktan geçtiğini not edelim. İnsan dilinde uzmanlaşmak yeterli derecede insansıdır, bu sebeple bunu yapabilenleri dahil edeceğim ve inanıyorum toplumun çoğunluğu da onları bu tanıma dahil edecektir fakat ayrıca insansı duygusal tepkilerini kanıtlayıp Turing testini geçemeyenleri de dahil edeceğim – örneğin, küçük çocuklar.

Bu, en azından kendim ve bu inanç sıçramasını kabul eden diğer kişiler için kimin bilinçli olduğunu soran felsefi soruyu çözüyor mu? Cevap: *pek değil.* Yalnızca bir durumu düşündük ki bu da insansı şekilde hareket eden varlıklardı. Gelecekteki biyolojik olmayan varlıkları tartışsak bile inandırıcı insansı tepkiler gösteren varlıklardan bahsediyoruz dolayısıyla bu konum

hâlâ insan merkezlidir. Peki insansı olmayan uzaylı zekâ formlarına ne demeli? İnsan beyni kadar belki de insan beyninden daha karmaşık ve dolaşık zekâlar hayal edebiliriz fakat bu tamamen farklı duygulara ve motivasyonlara sahiptir. Bilinçli olup olmadıklarına nasıl karar veririz?

Biyolojik dünyada insan beyniyle kıyaslanabilir olup yine de çok farklı davranış biçimleri gösteren yaratıklarla başlayabiliriz. İngiliz filozof David Cockburn (1949 doğumlu) saldırı altında olan dev kalamarın (ya da en azından saldırı altında olduğu düşünülen zira Cockburn video kameralı insandan korkmuş olabileceğini varsaydı) videosu hakkında yazar. Kalamar ürperdi ve korkudan sindi, Cockburn diyor ki: "Beni anında ve güçlü bir şekilde vuran bir korkuyla cevap verdi. Bu dizide vurucu olan şeyin bir kısmı bir yaratığın davranışında fiziksel olarak bir şeyler görmenin mümkün olmasıydı, dolayısıyla insanlarınkinden çok farklı olarak belirsizliğe hiç yer vermeden, açık bir şekilde korkuyu görmekti."[5] Cockburn, hayvanın bu duyguyu hissettiği sonucuna varıyor ve bu filmi izleyen çoğu insanın da aynı sonuca varacağına olan inancını açık bir şekilde belirtiyor. Cockburn'ün tanımını ve sonucunu kabul edersek dev kalamarları bilinçli varlıklar listemize eklememiz gerekir. Bununla birlikte, bu gözlem bizi çok uzağa götürmedi çünkü bu hâlâ kendimizden bildiğimiz bir duygunun empatisini kurma tepkisini temel alır. Bu, hâlâ ben merkezli ya da insan merkezli bir bakış açısıdır.

Biyolojinin dışına adım atarsak, biyolojik olmayan bir zekâ biyolojik dünyadaki zekâdan daha çeşitli olacaktır. Örneğin, bazı varlıklar kendilerini yok etmeye dair bir korku beslemeyebilir ve insanlarda ya da herhangi bir biyolojik yaratıkta gördüğümüz duygulara ihtiyaç duymayabilir. Belki de hâlâ Turing testini geçebilirler ya da denemek bile istemeyebilirler.

Bugün, gerçekten tehlikeli ortamlarda görev yaparken kendini korumak duyusuna sahip olmayan robotlar inşa ediyoruz. Bizlere göre ciddi şekilde duyarlılıklarını düşünecek kadar zeki ya da karmaşık değiller fakat gelecekteki robotları bu türde, insanlar kadar karmaşık şekilde hayal edebiliriz. Ya onlar?

Kişisel olarak böyle bir aletin davranışlarında karmaşık ve değerli bir hedef uğruna bir bağlılık ve önemli kararlar ile eylemleri harekete geçirme becerisi gördüysem çok etkilenirdim ve bu alet tahrip edildiğinde muhtemelen üzülürdüm. İnsanlarda hatta tüm biyolojik yaratıklarda evrensel olduğunu düşündüğümüz çoğu duyguyu içermeyen davranışa cevap vermem biraz kavramı genişletmek olacak. Ancak yine, kendimde ve diğer insanlardaki niteliklerle bağlanma yolu arıyorum. Soylu bir hedefe tamamen adanmış bir varlık

fikri ve bunu kendi iyiliğini düşünmeden gerçekleştirmek ya da en azından gerçekleştirmeye girişmek, sonuçta, insan deneyimine çok da yabancı değil. Bu örnekte biyolojik insanları korumayı amaçlayan ya da bir şekilde gündemimizi geliştirebilecek bir varlık düşünüyoruz.

Peki ya bu varlık insanınkilerden farklı olan, kendi hedeflerine sahipse ve bizim koşullarımızda soylu olarak tanımadığımız görevler başarıyorsa? Bunun üstüne ben bu varlığın becerilerini başka bir şekilde ilişki kurabilir ya da takdir edebilir miyim diye bakmaya girişebilirdim. Eğer bu varlık gerçekten akıllıysa matematikte iyi olması muhtemel, dolayısıyla belki bu konuda onunla sohbet edebilirdim. Belki matematik şakalarını beğenirdi.

Ancak eğer bu varlık benimle iletişim kurmaya hevesli değilse ve içeride olan süreçlerin güzelliğinden etkilenmek amacıyla onun eylemlerine ve karar verme sürecine yeterli bir erişimim yoksa bu durum onun bilinçli olmadığı anlamına mı gelir? Beni duygusal tepkilerine inandırmakta başarılı olmayan ya da denemek için uğraşmayan varlıkların zorunlu olarak bilinçli olmadığı sonucuna varmalıyım. Bilinçli başka bir varlığı bir seviyede empatik bir iletişim kurmadan tanımak zor olurdu, ancak bu yargı adı geçen varlığın sınırlarından çok benim kendi sınırlarımı yansıtır. Dolayısıyla tevazuyla devam etmemiz gerekir. Kendimizi öznel bir şekilde bir başka insanın yerine koymak bile yeterince zorlayıcı iken kendimizden son derece farklı olan zekâlarla bu görev çok daha zor olacaktır.

NEYİN BİLİNCİNDEYİZ?

> Bilinçli bir şekilde düşünen insanın kafatasının içinden beynine bakabilirsek ve en uygun uyarılabilirlik yeri ışık yayıyorsa serebral yüzey üzerindeki oynamaları görmeliyiz; mükemmel, boyutu ve şekli durmaksızın değişen dalgalanan sınırlarla, neredeyse derin bir karanlıkla çevrelenmiş, lobun geri kalanını kaplayan parlak bir benek.
>
> – Ivan Petrovich Pavlov, 1913[6]

Dev kalamara dönecek olursak, onun bazı görünür duygularını tanıyabiliriz fakat davranışlarının çoğu bir gizem niteliği taşır. Dev kalamar olmak nasıl bir şeydir? Küçük bir aralıktan geçerken omurgasız bedenini sıkarken nasıl hisseder? Diğer insanlarla paylaştığımız deneyimlerimizi –örneğin kırmızı rengini görmek ya da vücudumuza çarpan suyu hissetmek– bile tarif edemezken bu soruya cevap vermek için sözcüklerimiz bile yok.

Ancak bilinçli deneyimlerin doğasındaki gizemleri bulmak için okyanusun dibine kadar gitmemize gerek yok – sadece kendi benliğimizi düşünmeye ihtiyacımız var. Örneğin ben, bilince sahip olduğumu biliyorum. Siz okuyucuların da bilince sahip olduğunu varsayıyorum. (Kitabımı satın almayan insanlar için ise o kadar emin değilim.) Ancak neyin bilincindeyim? Aynı soruyu kendinize de sorabilirsiniz.

Bu düşünme deneyini bir deneyin (ki bu araba kullananlarınız için işe yarayacak): Otoyolun sol şeridinde araba kullandığınızı düşünün. Şimdi gözlerinizi kapatın, elinizde bir direksiyon tuttuğunuzu hayal edin ve sağ şeride geçmek için direksiyonu hareket ettirin.

Tamam, okumaya devam etmeden önce deneyin.

Muhtemelen yaptığınız şey direksiyon tutmaktı. Sağdaki şeridin müsait olup olmadığını kontrol ettiniz. Sağ şeridin müsait olduğunu varsayarak direksiyonu kısa bir süre için sağa çevirdiniz. Daha sonra direksiyonu tekrar düzelttiniz. İşiniz bitti.

Gerçek bir arabada olmadığınız iyi oldu çünkü otoyoldaki bütün şeritleri geçip bir ağaca çarpmış olurdunuz. Muhtemelen bunu hareket eden gerçek bir arabada yapmamanız gerektiğini söylemem gerekiyordu (fakat sonradan gözleriniz kapalıyken araba kullanmamanız gerektiği konusunda uzmanlaştığınızı varsaydım), buradaki asıl sorun bu değil. Tarif ettiğim prosedürü kullandıysanız –neredeyse bu düşünme deneyini yapan herkes gibi– yanlış yaptınız. Direksiyonu sağa çevirmek ve sonrasında düz tutmak arabanın asıl yönüne çapraz bir şekilde gitmesine sebep olur. Araba, istediğiniz gibi, sağ şeride geçecektir fakat yoldan çıkana kadar sağa doğru gitmeye devam edecektir. İhtiyacınız olan şey arabanız sağ şeride geçtikten sonra direksiyonu sağa çevirdiğiniz kadar sola doğru çevirmek ve daha *sonra* tekrar düzeltmek idi. Bu, arabanın yeni bir şeritte düz gitmesine sebep olacaktır.

Düzenli bir sürücü olduğunuz gerçeğini düşünün, bu manevrayı binlerce kez yaptınız. Bunu yaparken yaptığınızın bilincinde değil miydiniz? Şerit değiştirirken gerçekte ne yaptığınıza hiç dikkat etmediniz mi? Bu kitabı bir hastanede, şerit değiştirme kazası sonrası iyileşirken okumadığınızı varsayarsak bu beceride açık bir şekilde uzmanlaştınız. Yine de yaptığınız şeyin bilincinde değilsiniz, her ne kadar bu görevi çok kere gerçekleştirmiş olsanız da.

İnsanlar deneyimleriyle ilgili hikâyeler anlatırken bunları durumlar ve kararlar serisi olarak anlatırlar. Ancak ilk etapta bu, bir hikâyeyi deneyimleme şeklimiz değildir. Özgün deneyimimiz yüksek seviye şekillerin bir dizisidir ki bunların bazıları duyguları tetiklemiş olabilir. Bu şekillerin yalnızca küçük

bir alt dizisini hatırlarız o da eğer hatırlarsak. Hikâyeyi anlatışımızda makul şekilde kesin olsak dahi kayıp detayları doldurmak için öykü uydurma gücümüzü kullanırız ve diziyi uyumlu bir hikâyeye dönüştürürüz. Özgün, bilinçli deneyimimizin nasıl olduğunu hatırladığımız şeylerden kesin bir şekilde çıkaramayız, yine de bu deneyime tek ulaşma yolumuz belleğimizdir. Şimdiki an, geçicidir ve hızlı bir şekilde anıya dönüştürülür ya da genellikle, dönüştürülmez. Bir deneyim anıya dönüştürülse de ZŞTT'nin önerdiği gibi devasa bir hiyerarşide diğer şekillerden oluşan bir yüksek basamak şekli olarak saklanır. Birkaç defa işaret ettiğim gibi sahip olduğumuz neredeyse tüm deneyimler (şerit değiştirdiğimiz zamanlardan herhangi biri gibi) anında unutulur. Bu sebeple kendi bilinçli deneyimlerimizi neyin oluşturduğu aslında ulaşılabilir değildir.

DOĞU DOĞUDUR VE BATI BATIDIR

> Beyinlerden önce evrende renk ya da ses yoktu, tat ya da aroma da yoktu ve muhtemelen azıcık duyu vardı, hissiyat ya da duygu yoktu.
>
> – Roger W. Sperry[7]

> René Descartes bir restorana girer ve akşam yemeği için oturur. Garson gelir ve başlangıç olarak ne istediğini sorar.
>
> "Hayır teşekkür ederim," der Descartes, "sadece ana yemek siparişi vermek istiyorum."
>
> "Günün yemeklerini duymak ister misiniz?" diye garson sorar.
>
> "Hayır," der Descartes sabırsızlanarak.
>
> "Yemekten önce bir içki almayı düşünür müsünüz?" diye sorar garson.
>
> Descartes alınmıştır çünkü ağzına içki almaz. "Düşünmüyorum!" der kızgın bir şekilde ve PUF! bir anda kaybolur.
>
> – David Chalmers'ın anlattığı bir fıkra

Düşündüğümüz sorulara bakmanın iki yolu vardır – bilinçlilik ve gerçekliğin doğası üzerine birbirine zıt Doğu ve Batı perspektifleri. Batı perspektifinde bilgi şekillerini evrimleştiren fiziksel dünyayla başlarız. Birkaç milyar yıllık evrimden sonra o dünyadaki varlıklar bilinçli olmaya yeterli şekilde evrimleştiler. Doğu görüşünde, bilinçlilik temel bir gerçekliktir; fiziksel dünya bilinçli varlıkların düşünceleri sayesinde varlığını sürdürür. Diğer bir deyişle, fiziksel dünya bilinçli varlıkların dışa vurduğu düşüncelerdir. Karmaşık ve çeşitli felsefelerin elbette sadeleştirmeleri vardır fakat bunlar bilinçlilik felsefesindeki

ve onun fiziksel dünya ile olan ilişkisindeki başlıca kutupları temsil eder.

Bilinçlilik konusundaki Doğu-Batı ayrımı atomaltı fizik alanında ters düşen düşünce okullarında da ifade buldu. Kuantum mekaniğinde parçacıklar olasılık alanları adıyla vardır. Bunların üzerinde bir ölçüm aletiyle alınan ölçüler dalga fonksiyonunun çöküşü adı verilen duruma sebep olur, yani parçacık bir anda belirli bir konumu varsayar. Popüler bir görüş de böyle bir ölçümün bilinçli bir gözlemci tarafından yapılmış bir gözlemi içerdiğidir çünkü diğer şekilde ölçüm manasız bir kavram olurdu. Dolayısıyla parçacık belirli bir konumu (hız gibi diğer özelliklerde olduğu gibi) sadece gözlemlendiğinde varsayar. Temelde parçacıklar kimse onlara bakmak için uğraşmadığında nerede olduklarına karar vermeye ihtiyaçları yoktur. Ben buna kuantumun Budist okulu adını veriyorum çünkü burada parçacıklar özel olarak bilinçli bir kişi tarafından gözlemlenene kadar var olmazlar.

Kuantum mekaniğinin insana benzer terminolojiyi önleyen başka bir yorumu da vardır. Bu analizde parçacığı temsil eden alan bir olasılık alanı değildir fakat daha çok farklı konumlarda farklı değerleri olan bir fonksiyondur. Dolayısıyla alan, temel olarak parçacık ne ise odur. Alanın farklı konumlarda ne değerler alacağı üzerinde kısıtlamalar vardır çünkü parçacığı temsil eden tüm alan sadece sınırlı bir bilgi miktarını temsil eder. Burası "kuantum" sözcüğünün geldiği yerdir. Bu görüşün dayandığı dalga fonksiyonunun sözüm ona çöküşü aslında bir çöküş değildir. Aslında dalga fonksiyonu hiçbir zaman kaybolmaz. Bu yalnızca alanlarla birlikte olan parçacıklardan oluşan bir ölçüm aleti ve ölçülmekte olan parçacık alanının etkileşimi ile ölçüm aletinin parçacık alanlarının belirli bir konumda olan parçacığın okunmasına sebep olmasındandır. Bununla birlikte, alan hâlâ vardır. Bu, kuantum mekaniğinin Batı yorumudur ancak dünya çapında fizikçiler arasında daha popüler olan görüşün benim tabirimle Doğu yorumu olması da ilginçtir.

İşleri Doğu-Batı ayrımını karışlayan bir filozof vardı. Avusturyalı İngiliz düşünür Ludwig Wittgenstein (1889-1951) dil ve bilgi felsefesi çalıştı ve gerçekten bilebileceğimiz şeyler sorusuna kafa yordu. Bu konuyu Birinci Dünya Savaşı'nda askerken uzun uzun düşündü ve yaşarken yayımlanan tek kitabı için notlar aldı, ve kitabı *Tractatus Logico-Philosophicus* idi. Bu kitap garip bir yapıya sahipti ve sadece 1921'de yayımcı bulan, bir önceki eğitmeni İngiliz matematikçi ve filozof Bertrand Russell'ın çabalarıyla oluşturuldu. Mantıksal pozitivizm adı verilen büyük felsefe okulu için dini kitap hâline gelen bu iş bilimin sınırlarını aradı. Bu kitap ve kitabı çevreleyen bu hareket Turing için ve bilgisayım ile dilbilimin ortaya çıkışı için etkiliydi.

Tractatus Logico-Philosophicus tüm bilginin hiyerarşik olduğuna dair sezgiler bekliyordu. Kitabın kendisi yuvalanmış ve numaralanmış ifadeler hâlinde ayarlanmıştı. Örneğin kitabın ilk dört ifadesi:

1 Dünya dava olan her şeydir.
1.1 Dünya gerçeklerin toplamıdır, şeylerin değil.
1.11 Dünya gerçekler ve gerçeklerin tüm gerçekler oluşu tarafından belirlenir.
1.12 Dünya gerçeklerin toplamının, durumun ne olduğunu ve neler olmadığını belirlemesi için vardır.

Tractatus'taki önemli bir diğer ifade de –ve Turing'in yankılayacağı– şudur:

4.0031 Tüm felsefe dilin bir eleştirisidir.

Özel olarak hem *Tractatus Logico-Philosophicus* hem de mantıksal pozitivizm hareketi fiziksel gerçekliğin bizim onu algılamamızdan ayrı olarak var olduğu fakat gerçeklik ile ilgili tüm bilebildiğimizin duyularımızla algıladığımız şeyler –ki bunlar sahip olduğumu araçlar sayesinde yükseltilebilir– ve bu duyusal izlenimlerden yapabildiğimiz mantıksal çıkarımlar olduğunu öne sürer. Aslında Wittgenstein bilimin yöntemlerini ve hedeflerini tarif etmeye girişir. Kitaptaki son ifade 7 numaralı "Hakkında konuşamadığımız şeylerin üzerinden sessizlik içinde geçmeliyiz" cümlesidir. Önceleri Wittgenstein bilinç tartışmasını çembersel ve totolojik olarak görür dolayısıyla bu ona göre bir zaman kaybıdır.

Sonradan ise Wittgenstein bu yaklaşımı tamamen reddetti ve tüm felsefi dikkatini sessizlik içinde üzerinden geçilmesi gerektiğini düşündüğü maddeler hakkında konuşmaya verdi. Tekrardan düşünülmüş bu yazıları ölümünden iki yıl sonra 1953'te *Felsefi Soruşturmalar* adlı kitapta toplandı ve yayımlandı. *Tractatus*'taki önceki argümanlarını çembersel ve geçersiz anlamlar olarak yargılayarak eleştirdi ve konuşmamamızı öğütlediklerinin tamamının gerçekte yansıtmaya değer olduğu görüşüne ulaştı. Bu yazılar varoluşçuları ağır bir şekilde etkiledi ki modern felsefede Wittgenstein'ı felsefede önde gelen iki zıt düşünme okulunun büyük mimarı olan tek figür olarak görmelerini sağladı.

Düşünmeye ve hakkında konuşmaya değer sonraki Wittgenstein düşüncesi nedir? Bunlar, insanın zihninde kusurlu olarak var olduğunu tanıdığı

güzellik ve aşk gibi meselelerdi. Bununla birlikte, böyle kavramların mükemmel ve idealize edilmiş alanlar olarak Platon'un diyaloglarında yazdığı mükemmel "form"lara –ki bu iş de gerçekliğin doğasına görünür şekilde çelişki oluşturan bir işti– benzer şekilde var olduklarını yazdı.

Konumu bence yanlış nitelendirilen bir düşünür de Fransız filozof ve matematikçi René Descartes'tır. Descartes'ın ünlü "Düşünüyorum öyleyse varım"ı genellikle rasyonel düşünceyi "Düşünüyorum, mantıksal düşünmeyi uygulayabiliyorum, dolayısıyla değerliyim" şeklinde göklere çıkarmak olarak yorumlandı. Dolayısıyla Descartes Batı rasyonel bakış açısının mimarı olarak düşünüldü.

Bu ifadeyi diğer yazılarının konusunda okurken farklı bir izlenim ediniyorum. Descartes "zihin-beden sorunu" olarak adlandırılan konuyla uğraşıyordu: yani, bilinçli bir zihin nasıl olur da fiziksel bir madde olan beyinden meydana çıkabilir? Bu bakış açısında rasyonel şüpheciliği kırılma noktasına getirmeye girişiyor gibi görünüyor, bu yüzden benim görüşümce bu ifadenin asıl anlamı "Bence, bu, öznel deneyim gerçekleşiyor dolayısıyla kesin olarak bildiğimiz her şey –buna *ben* diyebilirsiniz– var olur demektir." Fiziksel dünyanın varlığından emin olamazdı çünkü sahip olduğumuz her şey bu fiziksel dünyadan edindiğimiz bireysel duyusal izlenimlerdir ki bunlar tamamen yanlış ya da hayali olabilir. Ancak biliyoruz ki deneyimleyen kişi var olur.

Ben dini açıdan tüm dünyadaki dinleri öğrendiğimiz üniteryen kilisesinde yetiştirildim. Altı ay boyunca, örneğin, Budizm üzerine çalışırdık ve Budist hizmet veren yerlere gider, kitaplarını okur ve liderleriyle tartışma grupları düzenlerdik. Daha sonra örneğin Musevilik gibi bir dine geçerdik. Ağır basan konu üstünlük ve hoşgörü ile birlikte "gerçekliğe doğru birçok yol" idi. Üstünlük fikri gelenekler arasında bir şeyin doğru olduğuna ve diğerinin yanlış olduğuna dair görünür çelişkileri ortadan kaldırmak demekti. Gerçek sadece, ağır basan –üstün olan– görünür farklılıklar için özellikle anlam ve amaç ile ilgili temel sorulara bir açıklama bulmaktı.

Bu şekilde bilinç üzerindeki Doğu-Batı ayrımını ve fiziksel dünyayı çözümledim. Benim görüşümce, iki bakış açısı da doğru olmalıdır.

Öte yandan, fiziksel dünyayı reddetmek aptalcadır. İsveçli filozof Nick Bostrom'ın şüphelendiği gibi bir simülasyonda yaşıyor olsak bile gerçeklik bizim için gerçek olan bir kavramsal basamaktır. Eğer fiziksel dünyanın ve onun içinde gerçekleşen evrimin varlığını kabul edersek bilinçli varlıkların buradan evrimleştiğini görebiliriz.

Diğer taraftan Doğu bakışı –yani bilinçliliğin temel olduğu ve gerçekten önemli olan tek gerçekliği temsil ettiği– da inkâr etmesi zor olan bir şeydir. Sadece bilinçsiz şeylerin karşısında bilinçli şeylere ne kadar değerli baktığımızı düşünün. Bilinçsiz şeylerin bilinçli kişilerin öznel deneyimlerini etkilemesi uzamının dışında gerçek değerlerinin olmadığını düşünürüz. Bilinçliliği karmaşık bir sistemin ortaya çıkan bir özelliği olarak görsek dahi bunun sadece başka bir nitelik (John Searle'den alıntı yapmak gerekirse "sindirim", "emzirme"nin yanı sıra) olduğu konumunu alamayız. Bu, gerçekten önemli olan şeyi temsil eder.

"Ruhani" sözcüğü genellikle nihai önemi göstermek için kullanılır. Çoğu insan ruhsal ya da dini geleneklerden böyle terimler kullanmaktan hoşlanmaz çünkü bunlar takip etmedikleri bir dizi inanışa işaret eder. Ancak dini geleneklerin mistik karmaşıklığını soyup çıkarırsak ve insanlara yoğun bir anlam işaret ediyormuş gibi basitçe "ruhani" olana saygı duyarsak, bilinçlilik kavramına ihtiyaç duyulur. Bilinç en yüksek ruhani değerdir. Aslında, "ruhun" kendisi genellikle bilinci ifade etmek için kullanılır.

Evrim daha sonra ruhsal varlıklar yani bilince sahip varlıklar yarattığı için ruhsal bir süreç olarak görülebilir. Evrim ayrıca daha fazla karmaşıklığa, daha fazla bilgiye, daha fazla zekâya, daha fazla güzelliğe, daha fazla yaratıcılığa ve daha üstün duyguları örneğin aşkı açıklama becerisine doğru hareket eder. Bunların hepsi insanların Tanrı kavramı için kullandığı tanımlardır, yine de, Tanrı bu yönlerde sınırları yokmuş gibi tarif edilir.

İnsanların genellikle bir makinenin bilinçli olabilme ihtimalini belirten tartışmalar yüzünden gözü korkar çünkü bu düşüncelerin bilinçli insanın ruhsal değerini karaladığını düşünürler. Ancak bu tepki, makine kavramının yanlış anlaşıldığını yansıtır. Bu gibi eleştiriler meseleye, bugün bildikleri makineleri temel alarak yaklaşırlar ve etkileyici bir hâle geldikçe teknolojinin çağdaş örneklerinin bilinçli varlıklar olarak saygımızı kazanmadıklarına inanıyorum. Tahminimce bilinçli varlıklar olarak gördüğümüz makineler biyolojik insanlardan ayrılamaz hâle gelecekler ve dolayısıyla bilinçliliğe yakıştırdığımız ruhsal değeri paylaşacaklar. Bu insanları aşağılamak değildir, daha çok gelecekteki (bazı) makineleri anlayışımızın yükselmesidir. Muhtemelen bu varlıklar için farklı bir terminoloji edinmemiz gerek zira bunlar farklı makineler olacaktır.

Aslında, beynin içine baktıkça ve mekanizmalarını deşifre ettikçe sadece anladığımız değil ayrıca yeniden yaratacağımız yöntemler keşfederiz – Alman matematikçi ve filozof Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) beyin

hakkında yazarken "birbirini iten değirmen parçaları" der. İnsanlar şimdiden ruhsal makineleri oluşturur. Dahası, birbirine çok yakın yarattığımız aletleri kaynaştıracağız ve aralarındaki ayrım insan ile makine arasındaki farklılık ortadan kalkana kadar bulanık olacak. Bizden uzanan çoğu makine henüz vücudumuzda ve beynimizde olmasa da, bu süreç şimdiden yola çıktı.

ÖZGÜR İRADE

> Bilinçliliğin merkezi bir açısı "öngörü" dediğimiz önüne bakma becerisidir. Bu, planlama ve sosyal anlamda, henüz gerçekleşmemiş sosyal etkileşimlerin olma olasılığı yüksek olan bir senaryoyu ya da olabilecekleri ana hatlarıyla belirlemektir. Bu onun sayesinde bu şeyleri yapabilme şansımızı geliştiririz ki bunlar da kendi çıkarlarımızı temsil edecektir. "Özgür irade"nin görünürde, en kullanışlı ya da uygun görünen şeylerden seçme ve ona göre davranma, bu seçimlerin kendi seçimimiz olduğu fikrinde ısrar etme becerimiz olduğunu öneriyorum.
>
> – Richard D. Alexander

> Bir bitkinin gözleri ya da kulakları ya da beyinleri olmadığı için yaptığı şeyi bilmediğini mi söylemeliyiz? Mekanik bir şekilde ve sadece mekanik bir şekilde hareket ettiğini söylersek güneşte kurumanın ve diğer görünür şekilde çok planlanmış hareketlerin de mekanik olduğunu söylemek durumunda kalmaz mıyız? Bitkinin bir sineği öldürüp yemesi bize mekanik görünüyorsa bitkiye de bir insanın koyunu öldürüp yemesi mekanik olmak zorunda gibi görünmez mi?
>
> – Samuel Butler, 1871

> Beyin, ki açıkça çift yapılı, çifte organ "ayrı görünen fakat yine de parçalardaki bir birleşme" midir?
>
> – Henry Maudsley[8]

Fazlalık, öğrendiğimiz gibi, neokorteks tarafından uygulanan kilit bir stratejidir. Ancak beynin sol ve sağ hemisferlerinde –ki bu hemisferler özdeş değilken aynı büyüklüktedir– farklı türde bir fazlalık da vardır. Neokorteksin belirli bölgelerinin normalde belirli bilgi türlerini işlemeye son vermesi gibi hemisferler de belirli bir yere kadar özelleşirler – örneğin, sol hemisfer genelde sözlü dilden sorumludur. Ancak bu görevler, tek bir hemisferler yaşamımızı sürdüreceğimiz ve neredeyse normal bir şekilde fonksiyonlarımızı yerine getirebilecek

noktaya kadar yeniden yönlendirilebilir. Amerikalı nöropsikoloji araştırmacıları Stella de Bode ve Susan Curtiss, hayati tehlikeye sebep olan ve sadece tek hemisferde bulunan ağrıları olan hastalarda uygulanan zorlu bir operasyon olan hemisferektomi ameliyatı (beynin yarısının alınması) geçiren kırk dokuz çocuk üzerinden rapor yazdı. Prosedürden geçen bazı hastalar zarar gördü fakat bu zararlar belirliydi ve hastalar makul derecede normal kişiliğe sahipti. Bu hastaların çoğu iyileşti ve beyinlerinin yarısını kaybettikleri dışarıdan anlaşılmıyordu. De Bode ve Curtiss sol hemisferi alınan çocukların "kayda değer bir şekilde 'dil' hemisferleri kaldırılmış olsa da iyi dil becerileri geliştirdiği" hakkında yazdı.[9] Üniversiteyi bitirmiş, lisansüstü programa devam eden bir hemisferi alınmış bir öğrencinin IQ testlerinde ortalama sonuç aldığının altını çizdiler. Çalışmalar, toplam bilişte, bellek, kişilik ve mizah algısında az miktarda uzun süreli etki olduğunu gösteriyor.[10] 2007 yılında Amerikalı araştırmacılar Shearwood McClelland ve Robert Maxwell tarafından yapılan bir araştırma yetişkinlerde benzer şekilde uzun süreli pozitif sonuçlar gösteriyor.[11]

On yaşındaki bir Alman kız çocuğu beyninin yarısıyla doğmuştu ve onun da gayet normal olduğu rapor edildi. Normalde hemisferektomi hastaları operasyondan hemen sonra görsel alanlarının bir kısmını yitirse de bu çocuk tek gözüyle mükemmel şekilde görüyordu.[12] İskoç araştırmacı Lars Muckli şu yorumu yaptı: "Beyin inanılmaz bir plastisiteye sahiptir fakat tek bir hemisferin bu kız çocuğunda nasıl böylesine iyi bir şekilde kayıp yarıyı telafi ettiğini gördüğümüzde oldukça hayret etmiştik."

Bu gözlemler neokorteksteki plastisite fikrini kesinlikle desteklerken daha ilginç bir çıkarım hepimiz iki beyne sahip gibi görünüyoruz ve ikisiyle de çok iyi devam edebiliriz. Eğer birini kaybedersek, sadece orada saklanan kortikal şekilleri kaybederiz fakat her beyin kendi içinde adil bir şekilde tamdır. O zaman her hemisfer kendi bilinçliliğine mi sahiptir? Burada böyle olduğuna dair kurulmayı bekleyen bir argüman var.

Ayrık beyin hastalarını düşünün, bu hastalar hâlâ iki beyin hemisferine de sahip fakat bunların arasındaki kanal kesilmiş. Korpus kallosum 250 milyon aksondan oluşan, sol ve sağ serebral hemisferleri bağlayan ve birbirleriyle iletişim kurmalarını, birbirlerine uyum sağlamalarını sağlayan bir demettir. İki insanın birbiriyle yakın biçimde ilişki kurabileceği gibi ve ayrı ve tam bireyler olarak kalırken birlikte karar verebilecekleri gibi iki beyin hemisferi bağımsız kalırken bir birim olarak işlev görebilir.

Terimin de belirttiği gibi ayrık beyin hastalarında korpus kallosum kesilmiş ya da zarar görmüştür ve bu şekilde beyni etkili bir şekilde, aralarında

direkt iletişim bağı olmayan iki beyne ayırır. Amerikalı psikoloji araştırmacısı Michael Gazzaniga (1939 doğumlu) ayrık beyin hastalarında iki beynin ne düşündüğünü araştıran geniş çaplı deneyler yaptı.

Ayrık beyin hastalarındaki sol hemisfer genellikle sağdaki görsel alanı görür ve bunun tersi de doğrudur. Gazzaniga ve iş arkadaşları ayrık beyin hastasına sağ görsel alanda (sol hemisferi tarafından görülen) bir tavuk pençesi resmi ve sol görsel alanda (sağ hemisferi tarafından görülen) karlı bir sahne gösterdiler. Daha sonra iki hemisferin de görebileceği bir resim yığını gösterdiler. Hastadan bu yığından ilk resimle uygun olabilecek bir resim seçmesini istediler. Hastanın (sağ hemisferi tarafından kontrol edilen) sol eli bir kürek resmi gösterirken (sol hemisferi tarafından kontrol edilen) sağ eli bir tavuk resmi gösterdi. Buraya kadar iyi – hemisferler bağımsız ve duyusal bir şekilde hareket ediyordu. Gazzaniga hastaya "Neden bunu seçtiniz?" diye sorduğunda hasta sözlü bir şekilde (bu, sol hemisferdeki konuşma merkezi tarafından kontrol ediliyor) "Tavuk pençesi açık şekilde tavuk ile uygun düşüyor" dedi. Ancak daha sonra hasta aşağıya baktı ve sol elinin küreği gösterdiğini fark ederek hemen bunu açıkladı (yine sol hemisfer tarafından kontrol edilen konuşma merkeziyle) "Tavuk pisliğini temizlemek için de küreğe ihtiyacınız olur."

Bu cümle bir hikâye uydurmasıydı. Sağ hemisfer (sol kol ve eli kontrol eder) doğru bir şekilde küreği gösterir fakat sol beyin (sözlü cevabı kontrol eder) karın farkında olmadığı için bir cevap uydurur, yine de uydurduğunun farkında değildir. Hiç karar almadığı ve uygulamadığı bir hareketin sorumluluğunu alır fakat bu kararı aldığını sanır.

Bu durum ayrık beyin hastasında iki hemisferin de kendi bilincinin olduğunu gösterir. Hemisferler vücutlarının iki beyin tarafından kontrol edildiğinin farkında değilmiş gibi görünür çünkü birbirleriyle uyumlu olmayı öğrenirler ve kararları yeterli şekilde hizalı ve tutarlı olduğu için her biri diğerinin kararının kendisinin olduğunu sanır.

Gazzaniga'nın deneyi korpus kallosum'u işlev gören normal bireylerde iki bilinçli yarı beynin olduğunu kanıtlamıyor fakat bu olasılığı öneriyor. Korpus kallosum iki yarı beyin arasında etkili bir işbirliği sağlarken, iki hemisferin ayrı zihinler olmadığını ifade etmez. Her biri kandırılarak tüm kararları verdiğini düşünmesi sağlanabilir çünkü ikisi de kendi kendilerine verdikleri kararlara yeterince yakın olurlar ve sonuçta verilen her kararda korpus kallosum'un büyük etkisi vardır (diğer hemisferle korpus kallosum üzerinden işbirliği yapıldığı için). O zaman her iki zihin de kendisinin kontrolü ele aldığını düşünür.

Her ikisinin de bilinçli olduğu varsayımını nasıl test edersiniz? Bilincin sinirbilimsel karşılıklı ilişkisine Gazzaniga'nın tam da yaptığı gibi ulaşılabilir. Gazzaniga'nın deneyleri iki hemisferin de bağımsız bir beyin gibi hareket ettiğini gösterir: hepimiz bunu düzenli olarak yaparız. Hemisferlerin her biri neredeyse bir insan kadar akıllıdır, bu yüzden eğer insan beyninin bilinçli olduğuna inanıyorsak iki hemisferin de birbirinden bağımsız olarak bilinçli olduğu sonucuna varmamız gerekir. Sinirbilimsel ilintiye ulaşabiliriz ve kendi düşünme deneylerimizi yapabiliriz (örneğin, eğer iki beyin hemisferi işlev gören bir korpus kallosum olmadan iki ayrı bilinçli zihni oluşturur, o zaman aynı şey birbirleri arasında işlevli bir bağlantı olan iki hemisfer için de geçerlidir) fakat bilincin iki hemisferde de direkt tespitine girişmek bizi tekrar bilinç için bilimsel bir testin olmayışı durumuyla karşı karşıya getirir. Eğer iki hemisferin de bilinçli olmasına izin verirsek neokortekste sözüm ona bilinçaltı hareketin (ki bu kendi hareketinin büyük hacmini oluşturur) bağımsız bilinçliliğini de kabul etmiş olur muyuz? Belki birden çok bilinç vardır? Aslında Marvin Minsky beyne "zihin toplumu" der.[13]

Bir başka ayrık beyin deneyinde araştırmacılar sağ beyne "zil" sözcüğünü ve sol beyne de "müzik" sözcüğünü gösterdiler. Hastaya hangi sözcüğü gördüğü soruldu. Konuşma merkezini kontrol eden sol beyin "müzik" dedi. Deneğe daha sonra bir resim grubu gösterildi ve kendisine gösterilen sözcüğün en yakından hangi resimle ilişkili olduğunu göstermesi istendi. Sağ hemisferinin kontrol ettiği kol zili gösterdi. Neden zili gösterdiği sorulduğunda sol hemisfer tarafından kontrol edilen konuşma merkezi "Müzik, en son duyduğum müzik burada zillerin çalmasıydı" diye cevap verdi. Resimler arasında müziğe daha yakın olanlar olsa da denek bu açıklamayı sundu.

Bu yine bir hikâye uydurmasıdır. Sol beyin kendi kararıymış gibi hiç almadığı ve gerçekleştirmediği bir şeyi açıkladı. Bu bir arkadaşa (yani diğer hemisfere) destek çıkmak için yapılan bir şey değil –sol beyin gerçekten bu kararın kendine ait olduğunu düşünüyor.

Bu tepkiler ve kararlar duygusal yanıtlara kadar uzanabilir. On beş yaşında bir ayrık beyin hastasına –iki hemisferin de duyabileceği şekilde– "Favori .... kimdir?" diye sorarken boşluğu "kız arkadaşın" sözcüğüyle doldurup bunu sağ beynin kontrol ettiği sol kulağa doğru söylediler. Gazzaniga deneğin kızardığını ve utangaç bir şekilde hareket ettiğini rapor ediyor ki bu ergenlik dönemindeki bir gencin kız arkadaşıyla ilgili bir soruya vereceği uygun bir tepkidir. Ancak sol hemisferin kontrol ettiği konuşma merkezi duymadığını söyledi ve açıklığa kavuşturmak için "Favori neyim?" diye sordu. Aynı

soru bu sefer yazılı şekilde cevaplaması için sorulduğunda sağ hemisferin kontrol ettiği sol el kız arkadaşının adını yazdı.

Gazzaniga'nın testleri düşünme deneyleri değil, gerçek zihin deneyleridir. Bu deneyler bilinçlilik konusu için ilginç bir bakış açısı sağlarken özgür irade meselesi hakkında daha doğrudan konuşuyorlar. Bu durumların her birinde hemisferlerden biri aslında hiç almadığı bir kararı verdiğini sanıyor. Bu, her gün verdiğimiz kararların ne kadarı için doğru?

On yaşındaki kadın epilepsi hastası vak'asını düşünelim. Beyin cerrahı Itzhak Fried hasta ayıkken beyin ameliyatı uyguladı (bu yapılabilir bir şeydir çünkü beyinde acı reseptörü yoktur).[14] Hastanın neokorteksinde belirli bir noktayı her stimüle ettiğinde hasta gülüyordu. İlk başta cerrahi ekip bir çeşit gülme refleksini tetiklediklerini sandılar fakat kısa bir süre sonra gerçekten mizah algılama bölgesini tetiklediklerini anladılar. Hastanın neokorteksinde mizah algısını tanıyan –bariz bir şekilde birden çok– nokta buldular. Hasta sadece gülmüyordu – durumda doktorların neokorteksteki bu noktayı stimüle etmesinden başka aslında değişen hiçbir şey yoksa da durumu komik buluyordu. Hastaya neden güldüğünü sorduklarında "Herhangi bir sebep yok" ya da "Demin beynimi stimüle ettiniz" gibi bir cevap vermedi, anında bir sebep uydurdu. Hasta, odadaki bir şeyi gösterip neden komik olduğunu açıklamaya çalıştı. "Tepemde dikiliyor olmanız çok komik" de tipik bir yorumdu.

Göründüğü gibi, hareketlerimizi açıklama ve akla uygun hâle getirmeye oldukça eğilimliyiz, buna yön veren kararları gerçekten almasak da. O zaman aldığımız kararlardan ne kadar sorumluyuz? Fizyoloji profesörü Benjamin Libet (1916-2007) tarafından Davis Kaliforniya Üniversitesi'nde yapılan deneyleri düşünelim. Libet kafa derisine EEG elektrodları bağlanmış katılımcıları bir zamanlayıcının önüne oturttu. Onlardan, butona basmak ya da parmaklarını hareket ettirmek gibi basit işler yapmalarını istedi. Katılımcılardan "hareket etme isteği ya da dürtüsü ilk geldiğinde" zamanlayıcıdaki zamanı not etmeleri istendi. Testler bu denekler tarafından yapılan bu değerlendirmelerde 50 milisaniyelik bir boşluğa işaret etti. Deneklerin hareket etme dürtülerinin farkında olmalarıyla hareket etmelerinin arasında da ortalama 200 milisaniyelik bir zaman ölçtüler.[15]

Araştırmacılar deneklerin beyninden gelen EEG sinyallerine de baktı. Motor korteks tarafından (hareketi gerçekleştirmekten sorumlu olan bölge) hareketin başlatılmasında yer alan beyin aktivitesi gerçekte hareketin yapılmasından ortalama 500 milisaniye önce gerçekleşti. Bu, denek böyle bir ka-

rar aldığının farkında dahi olmadan saniyenin üçte biri kadarlık bir süre önce motor korteksin bu işi gerçekleştirmeye hazırlandığı anlamına geliyor.

Libet deneylerinin olası sonuçları çok tartışıldı. Libet'in kendisi de karar almanın farkında oluşumuz bir algı yanılması gibi görünüyor, yani "bilinçlilik döngünün dışındadır," sonucuna vardı. Filozof Daniel Dennett, "Hareket için ilk başta beynin bir parçasında zemin hazırlanıyor ve sinyalleri kaslara gönderiyor ve yoldayken durup size, bilinçli temsilciye, neler olduğunu anlatıyor (ancak tüm iyi memurların size, sakar başkana yaptıkları gibi her şeyi sizin başlattığınız aldatmacasını yaratıyor)" yorumunu yaptı.[16] Aynı zamanda Dennett, deney tarafından kaydedilen zamanlamaları sorgulayarak, deneklerin tam olarak ne zaman hareket etmek için karar verdiklerinin farkında olmayabilecekleri noktasını tartıştı. Eğer denek ne zaman karar verdiğinin farkında değilse, kim bunun farkında? Ancak bu nokta gerçekten daha önce de tartıştığım gibi kabul gördü, neyin bilincinde olduğumuz belirli olmaktan çok uzak.

Hintli Amerikalı sinirbilimci Vilayanur Subramanian "Rama" Ramachandran (1951 doğumlu) durumu daha farklı şekilde açıklıyor. Neokortekste 30 milyar seviyesinde nöronumuzun olduğu göz önüne alınırsa, beyinde gerçekleşen çok fazla şey var ve bilinçli olarak bunun çok azının farkındayız. Büyük ya da küçük, kararlar sürekli olarak neokorteks tarafından işleniyor ve bilinçli farkındalığımızda ortaya çıkmaları için çözümler öneriliyor. Özgür iradeden ziyade Ramachandran "özgür istenmeyenleri" – yani, neokorteksimizin bilinçli olmayan kısımları tarafından önerilen çözümleri reddetme gücünden konuşalım diyor.

Askeri mücadele örneğini düşünün. Ordu görevlileri başkana bir öneri hazırlıyor. Başkan'ın onayını almadan önce kararın gerçekleştirilmesini sağlayacak hazırlıklar yapılıyor. Belirli bir anda, önerilen karar başkana sunuluyor, başkan onaylıyor, görevin geri kalanı daha sonra gerçekleştiriliyor. Bu örnekte temsil edilen "beyin" neokorteksin bilinç dışı süreçleriyle (yani, başkanın altındaki ordu görevlileri) birlikte bilinçli süreçleri (başkan) de içerdiği için sinirsel hareketlerle birlikte gerçek hareketlerin de resmi karar alınmadan önce gerçekleştiğini görürdük. Belirli bir durumda başkanın altındaki görevlilerin aslında başkanın onaylaması ya da reddetmesi için ki ABD Başkanları ikisini de yaptı, verdikleri öneriden ne kadar sapacağıyla ilgili tartışmalara girebiliriz. Ancak bu zihinsel hareketin motor kortekste bile olsa alınacak bir karar olduğunun bizler farkında olmadan başlaması bizi şaşırtmamalıdır.

Libet deneylerinin altını çizdiği şey beyinlerimizde kararlarımızın altında yatan ve bilinçli olmayan birçok hareketin olduğudur. Neokortekste gerçekleşen çoğu şeyin bilinçli olmadığını zaten biliyorduk, dolayısıyla hareketlerimizin ve kararlarımızın hem bilinçli hem de bilinçsiz hareketlerden kaynaklandığı da şaşırtıcı olmamalıdır. Bu ayrım önemli midir? Eğer kararlarımız ikisinden de oluşuyorsa bilinçli olan kısımları bilinçli olmayan kısımlardan ayırmak önemli olmalı mıdır? İki taraf da beyni yansıtmıyor mu? En nihayetinde, beynimizde olan her şeyden bizler sorumlu değil miyiz? "Evet, kurbanı ben öldürdüm fakat sorumlu değilim çünkü dikkat etmiyordum" muhtemelen zayıf bir savunmadır. İnsanın kararlarından sorumlu tutulmadığı dar yasal zeminler olsa da genellikle yaptığımız her seçimden sorumlu oluruz.

Yukarıda alıntıladığım deneyler ve gözlemler özgür irade konusundaki düşünme deneylerini oluşturur ki özgür irade bilinçlilik konusu gibi Platon'dan beri tartışılan bir konudur. "Özgür irade" teriminin kendi kökeni 13. yüzyıla dayanır fakat aslında ne ifade eder?

Merriam-Webster sözlüğü bu terimi "insanın kutsal bir müdahale olmadan ya da önceki nedenler tarafından belirlenmeyen seçim yapma özgürlüğü" olarak tanımlıyor. Bu tanımın dairesel olduğunu fark edeceksiniz: "Özgür irade özgürlüktür..." Kutsal müdahalenin özgür iradenin karşısında durduğu fikrini bir kenara bırakırsak bu tanımda önemli olan bir unsur var ki bu da kararın "önceki nedenler tarafından belirlenmemesi." Birazdan buna geri döneceğim.

Standford Felsefe Ansiklopedisi özgür iradenin "rasyonel vekillerin çeşitli alternatifler arasından bir hareket seçim yapma kapasitesi" olduğunu ifade ediyor. Bu tanımla, basit bir bilgisayar özgür iradeye sahip olur dolayısıyla bu sözlük tanımından daha az yararlıdır.

Vikipedi açıkçası biraz daha iyi. Özgür iradeyi "kişilerin belirli kısıtlamalardan bağımsız şekilde seçim yapması... Baskın kısıtlama da belirlenircilikti̇r" diye tanımlıyor. Yine, özgür iradeyi tanımlarken çembersel sözcük olan "özgür"ü kullanıyor fakat özgür iradenin baş düşmanı olarak görülen şeyi yorumluyor: *belirlenircilik*. Bu bakımdan yukarıdaki Merriam-Webster tanımı aslında "önceki nedenlere göre tanımlanmayan" kararlara benziyor.

O zaman belirlenircilikle neyi kastediyoruz? Hesap makinesine "2+2" yazarsam ve "4" gösterirse hesap makinesinin "4"ü göstermek için özgür iradesini kullandığını söyleyebilir miyim? Kimse bunu özgür iradenin gösterimi olarak kabul etmezdi çünkü "karar" hesap makinesinin iç mekanizmaları ve girdisi tarafından belirlendi. Daha karmaşık bir hesaplama yaparsam yine özgür irade eksikliği görüşüyle aynı sonuca ulaşırız.

Watson *Jeopardy!* sorgularını yanıtlarken nasıl oluyor? Üzerinde düşündüğü şeyler bir hesap makinesininkinden çok daha karmaşık olsa da kararları için hiç kimse değilse bile çok az gözlemci özgür iradesini kullandığını söyleyebilir. Hiçbir insan tam olarak tüm programlarının nasıl çalıştığını bilmiyor ama işbirliği içinde tüm yöntemlerini tarif edecek bir grup insan bulabiliriz. Daha önemlisi, çıktısı (1) sorgu karşısına çıktığında tüm programları tarafından belirlenir, (2) sorgu tarafından belirlenir, (3) kararlarını etkileyen iç parametreleri tarafından ve (4) ansiklopediler dahil trilyonlarca baytlık bilgi temeli tarafından belirlenir. Bu dört bilgi kategorisini temel alarak çıktı belirlenir. Aynı sorguyu sunmanın her zaman aynı cevabı alacağını yorumunu yapabilirdik fakat Watson deneyimlerinden öğrenmeye programlandı, bu yüzden sonraki cevapların farklı olması ihtimali var. Bununla birlikte, bu durum bu analizle çelişmiyor daha çok madde 3'te yani kararlarını kontrol eden parametrelerde bir değişikliği içeriyor.

O zaman bir insan Watson'dan ne şekilde farklıdır, örneğin özgür iradeyi insana ait görüp bilgisayar programına nasıl ait görmeyiz? Birkaç faktör tanımlayabiliriz. Watson tüm insanlardan olmasa da çoğu insandan *Jeopardy!* oynamakta daha iyi olsa da, neredeyse bir insan neokorteksi kadar karmaşık değildir. Watson hayli yüksek bir bilgiye sahip ve o da hiyerarşik yöntemler kullanıyor fakat hiyerarşik düşünmesinin karmaşıklığı hâlâ bir insanınkinden daha az. Pekâlâ farklılık basit bir şekilde hiyerarşik düşünmesinin karmaşıklığı bir ölçü daha az olmasında mı? Meseleyi buraya getiren bir argüman var. Bilinçlilik konusundaki tartışmamda kendi inanç sıçramamın geçerli bir Turing testini geçen bir bilgisayarın bilinçli olduğunu düşünmek olduğunu not ettim. En iyi chatbot'lar bugün bunu yapamıyor (sabit bir şekilde ilerlemelerine rağmen), dolayısıyla bilinçlilik ile ilgili benim çıkarımım bunun bir varlığın performans seviyesi olduğudur. Belki aynı şey bu varlıklara yakıştırdığım özgür irade için de geçerli.

Bilinçlilik aslında insan beyinleriyle bilgisayar yazılım programları arasındaki felsefi farklılıktır. İnsan beyinlerinin bilinçli olduğunu düşünüyoruz, bunun yanı sıra *–henüz–* bunu yazılım programları için düşünmüyoruz. Acaba bu özgür iradenin altında yattığını düşündüğümüz faktör müdür?

Basit bir zihin deneyi bilinçliliğin aslında özgür iradenin yaşamsal önemi olan bir parçası olduğunu tartışabilir. Bir kişinin farkında olmadan bir hareket yaptığını düşünün – bu hareket tamamen bu kişinin beynindeki bilinçsiz etkinlik tarafından gerçekleştiriliyor. Bunu özgür iradenin gösterimi olarak görür müyüz? İnsanların çoğunun cevabı "hayır"dır. Eğer bu hareket za-

rar vericiyse bu insanın hareketinden sorumlu olduğunu düşünürüz ve bilinçli farkındalığı olmadan yaptığı hareketlere sebep olan yakın zamanda olmuş bilinçli hareketler ararız örneğin çok fazla içki içmek ya da sadece kararlarını uygulamadan önce bunları bilinçli bir şekilde düşünme konusunda kendini yeterince eğitememek.

Bazı yorumculara göre, Libet deneyleri, karar verme süreçlerimizin bilinçli olmadığını göstererek özgür iradeye karşı çıkıyordu. Filozoflar arasında özgür iradenin bilinçli karar alma sürecini ima etmesi akla uygun bir fikir birliği olduğundan bilinçlilik özgür iradenin var olması için bir gereklilik gibi görünüyor. Bununla birlikte çok sayıda gözlemci bilinçliliğin gerekli fakat yetersiz bir durum olduğunu düşünüyor. Eğer kararlarımız–bilinçli ya da değil–onları almadan belirleniyorsa kararlarımızın özgür olduğunu nasıl söyleyebiliriz? Bu konum, özgür irade ile belirlenirciliğin uyumlu olduğunu savunur ve bağdaşmazcılık olarak bilinir. Örneğin Amerikalı filozof Carl Ginet (1932 doğumlu) geçmişte, şimdide ve gelecekteki olaylar belirlendiği sürece onların ve sonuçlarının üzerinde hiç kontrolümüz olmadığını söyler. Belirli kararlarımız ve hareketlerimiz basit bir şekilde önceden belirlenmiş dizinin bir parçasıdır. Ginet'e göre bu durum özgür iradeyi hükümsüz kılar.

Bununla birlikte, belirlenirciliği özgür irade kavramıyla uyuşmaz görmeyenler de vardır. Bağdaşmazcılar, temelde, ne isterseniz karar vermekte özgürsünüz fakat karar verdiğiniz şey belirlenmiştir ya da belirlenmiş olabilir. Örneğin Daniel Dennett geleceğin şimdinin evrelerinden belirlendiğini düşünürken, gerçekliğin oldukça karışık olduğunu ve geleceğin ne getireceğini bilemeyeceğimizi tartışır. Bahsettiği şeyi "beklentiler" olarak tanımlayabiliriz ve aslında bu beklentilerden farklılaşan hareketleri uygulamakta özgürüzdür. Kararlarımızın ve hareketlerimizin bu beklentilerle nasıl kıyaslandığını düşünmeliyiz, teorik olarak belirlenen fakat aslında bilemeyeceğimiz bir geleceği değil. Bu Daniel Dennett'in özgür irade için yeterli gördüğü şeydir.

Gazzaniga ayrıca bağdaşmaz bir konumu da yorumlar: "Bizler kişisel olarak sorumlu vekilleriz ve belirlenmiş bir dünyada yaşasak bile hareketlerimizden mesul tutulmalıyız."[17] Kötümser bir kişi bu görüşü şu şekilde yorumlayabilir: Kendi hareketleriniz üzerinde hiçbir kontrolünüz yok fakat bu hareketlerden yine de sizi sorumlu tutacağız.

Bazı düşünürler özgür irade düşüncesini bir yanılsama olarak görür. İskoç filozof David Hume (1711-1776) bunu basit bir şekilde "sözel" bir konu olarak tanımlayıp "yanlış bir duyumsama ya da görünüşteki deneyim" şeklinde nitelendirdi.[18] Alman filozof Arthur Schopenhauer (1788-1860)

"herkes, bireysel hareketlerinde bile, *önce* tamamen özgür olduğuna inanır ve her an bir başka hayat biçimine başlayabileceğini düşünür... Ancak sonra, deneyimle birlikte, şaşkın bir biçimde özgür olmadığını ve gerekliliğe tabi kılındığını yani tüm kararlılık ve derin düşüncelerinin aksine davranışlarını değiştirmez ve hayatının başından sonuna kadar kendi kendini mahkûm ettiği karakteri taşımak zorundadır"[19] yazar.

Buraya birkaç nokta daha eklemek istiyorum. Özgür irade kavramı –ve sorumluluk ki bu özgür irade ile aynı hizadadır– yararlıdır ve özgür irade var olsa da olmasa da gerçekte sosyal düzeni korumak için yaşamsal önemi vardır. Bilinçliliğin açık bir şekilde mem olarak var olması gibi özgür irade de bir mem hâlinde var olur. Varlığını kanıtlama girişimleri hatta tanımlamak bile, umutsuz bir şekilde döngüsel hâle gelir fakat gerçekte neredeyse herkes buna inanır. Yüksek seviye neokorteksimizin çok önemli bir bölümü özgür seçimler yapma ve hareketlerimizden sorumlu olma kavramına adanmıştır. Katı felsefi bir açıdan bunun doğru hatta mümkün olup olmadığını bilmesek de böyle inançlarımız olmasaydı toplum daha yoksul olurdu.

Buna ek olarak, dünya zorunlu olarak belirlenmiş değildir. Kuantum mekaniği üzerine yukarıda iki görüş sundum, bu görüşler bir gözlemciye göre kuantum alanlarına göre farklılaşıyordu. Gözlemci temelli bakış açısının popüler bir yorumu bilinçlilik için bir rol sağlamasındandır: Parçacıklar kuantum belirsizliğini bilinçli bir gözlemci tarafından gözlemlenene kadar çözemezler. Özgür irade tartışmalarımızla bir alakası olan kuantum olaylarının felsefesinde başka bir ayrım vardır ki bu ayrım şu soru etrafında döner: Kuantum olayları belirlenmiş midir yoksa rastgele mi gerçekleşir?

Kuantum olayının yaygın bir yorumu da, parçacığı oluşturan bir dalga fonksiyonu "çöktüğünde" parçacığın konumunun belirli hâle gelmesidir. Böyle birçok olaydan sonra tahmin edilebilir bir dağılım olacaktır (ki bu da dalga fonksiyonunun bir olasılık dağılımı olarak düşünülmesinin sebebidir), fakat dalga fonksiyonunun çökme yaşayan her parçacık için çözülmesi rastgele olur. Buna karşı çıkan yorum belirlenircidir: özellikle, ayrı bir şekilde tespit edemediğimiz gizli bir değişken vardır fakat bu değişkenin değeri parçacığın konumunu belirler. Çoğu kuantum fizikçisi olasılık alanına göre rastgele çözülme fikrini onaylar gibi görünür fakat kuantum mekaniği denklemler böylesine gizli bir değişkenin varlığına izin verir.

Dolayısıyla dünya belirlenmiş olmayabilir. Kuantum mekaniğinin olasılık dalga yorumuna göre gerçekliğin en basit düzeyinde sürekli belirsizlik kaynağı vardır. Bununla birlikte, bu gözlem zorunlu olarak bağdaşmazcıların

kaygılarını çözmez. Kuantum mekaniğinin bu yorumu altında dünyanın belirlenmemiş olduğu doğrudur fakat özgür irade kavramımız rastgele olan karar ve hareketlerin ötesine uzanır. Çoğu bağdaşmazcı özgür iradenin ayrıca temelde kazara olan kararlarımızla bağdaşmadığını düşünür. Özgür irade amaçlı bir karar alma sürecini ima ediyor gibi görünür.

Dr. Wolfram bu ikiliği çözmek için bir yol önerir. Kitabı *A New Kind of Science** (2002) hücresel otomasyon fikrinin kapsamlı görüşünü ve hayatımızın her yüzünde bu fikrin rolünü sunar. Hücresel otomat, bilgi hücrelerinin değerininin sürekli olarak yakınındaki hücrelerin fonksiyonu olarak yeniden hesaplandığı bir mekanizmadır. John von Neumann evrensel kurucu adını verdiği teorik bir kendini tekrarlama makinesi yarattı ki bu muhtemelen ilk hücresel otomat idi.

Dr. Wolfram tezini muhtemel olan en basit hücresel otomat ile yani bir boyutlu çizgideki bir grup hücre ile açıklar. Zamandaki her noktada, her hücre iki değerden birini alabilir: siyah ya da beyaz. Her hücrenin değeri her döngü için tekrardan hesaplanır. Gelecek döngü için bir hücrenin değeri şimdiki değerinin ve yanındaki iki komşusunun değerinin fonksiyonudur. Her hücresel otomat bir hücrenin siyah ya da beyaz olduğunu nasıl hesaplayacağımızı belirleyen bir kuralla nitelendirilir.

Dr. Wolfram'ın kural 222 dediği örneği düşünün.

kural 222

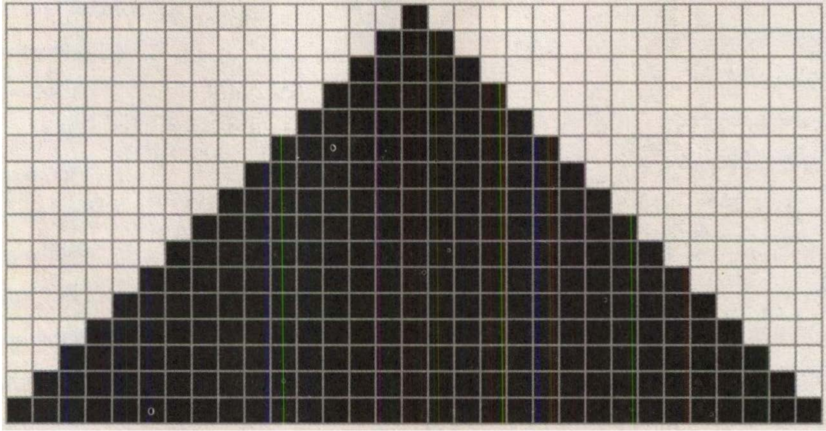
1 1 0 1 1 1 1 0

Tekrardan hesaplanan hücrenin değeri için sekiz muhtemel kombinasyon vardır ve sol ve sağ komşular ilk sırada gösterilir. Hücrenin yeni değeri alt sırada gösterilir. Bu yüzden, örneğin eğer bir hücre siyahsa ve iki komşusu da siyahsa gelecek nesilde hücre siyah kalacaktır (kural 222'nin en soldaki altkuralına bakınız). Eğer hücre beyazsa soldaki komşu beyazsa ve sağdaki komşu siyahsa bu hücre gelecek nesilde değişerek siyah olacaktır (kural 222'nin sağdan ikinci altkuralına bakınız).

(*) *A New Kind of Science: Yeni bir Bilim Türü.*

Bu basit hücresel otomatların evreni bir sıra hücreden ibarettir. Ortada bir tek siyah hücreyle başlarsak ve birkaç nesil üzerinde evrimi gösterirsek (burada aşağı doğru ilerlerken her sıra yeni değer nesillerini gösteriyor), kural 222'nin sonuçları şöyle görünür:

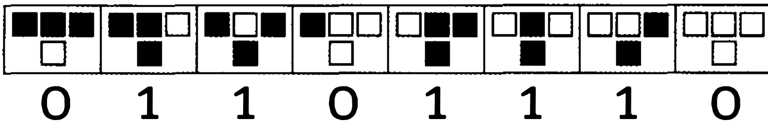
kural 222



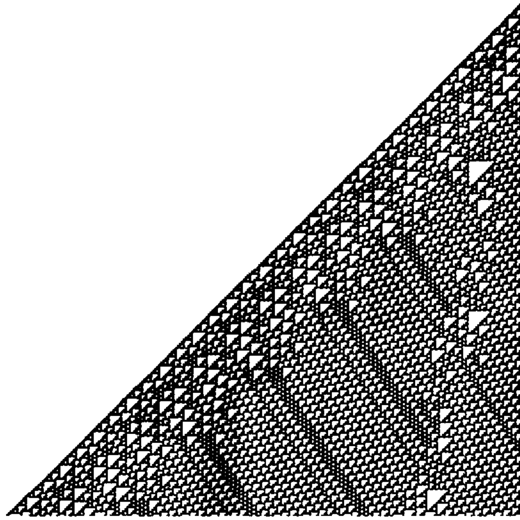
Bir otomat bir kuralı temel alır ve bir kural da hücrenin siyah ya da beyaz olacağını o nesilde var olan sekiz muhtemel şekli temel alarak belirler. Dolayısıyla 2^8=256 olası kural vardır. Dr. Wolfram tüm 256 olası otomatı listeledi ve her birine 0'dan 255'e kadar bir Wolfram kodu verdi. İlginç bir şekilde 256 teorik makine çok farklı özelliklere sahiptir. Dr. Wolfram'ın sınıf I dediği otomatlar, örneğin kural 222, çok tahmin edilebilir şekiller yaratır. Ortadaki hücrenin kural 222'ye göre trilyon tane trilyon iterasyon sonrası hangi değeri alacağını sorarsam kolaylıkla "siyah" cevabını verebilirsiniz.

Daha ilginç olanı ise sınıf IV otomatlar ki bunlar kural 110 ile gösterilir:

kural 110



Bu otomatın birçok nesilden sonraki hâli şöyle görünür:



Kural 110 otomatı ve sınıf IV otomatlarıyla ilgili ilginç bir şey de genelde sonuçların hiç tahmin edilememesidir. Sonuçlar rastgelelik üzerine en katı matematik testlerini geçer fakat basit bir şekilde parazit yaratmazlar: Tekrar eden şekiller vardır fakat bu şekiller garip ve tahmin edilemez hallerde tekrar ederler. Size belirli bir hücrenin, trilyon tane trilyon tekrarlama sonrası değerinin ne olduğunu soracak olsam hücreleri makinede gerçekten bu kadar nesil çalıştırmadan bu soruyu cevaplamanın bir yolu olmazdı. Çözüm açık bir şekilde belirlidir çünkü bu çok basit belirlenirci bir makinedir fakat gerçekten makineyi kullanmadan cevabı tahmin etmek tamamen imkânsızdır.

Dr. Wolfram'ın ilk tezi dünyanın sınıf IV'ten oluşan bir büyük hücresel otomat olduğudur. Kitabının başlığının *Yeni Bir Bilim Türü* olmasının sebebi bu teorinin diğer çoğu bilimsel kanunla karşıtlık göstermesidir. Dünya'nın yörüngesinde dolaşan bir uydu varsa bu uydunun bundan beş yıl sonra nerede olacağını simüle edilecek sürecin her anını yerçekimi kanunlarını kullanıp gelecek zamanda hangi noktalarda olacağını çözmeden tahmin edebiliriz. Ancak sınıf IV hücresel otomatlarının gelecek evreleri her adımı simüle etmeden tahmin edilemez. Eğer evren, Dr. Wolfram'ın varsaydığı gibi, dev bir hücresel otomat ise böylesi bir simülasyonu çalıştırabilecek yeterince büyük bir bilgisayar olmazdı – zira her bilgisayar evrenin bir alt kümesi olurdu. Dolayısıyla evrenin gelecek evresi belirlenir olsa da tamamen bilinemezdir.

Bu sebeple, kararlarımız belirlenmiş olsa bile (çünkü vücudumuz ve beynimiz belirlenir bir evrenin parçasıdır), yine de doğaları gereği tahmin edilemezdir çünkü sınıf IV otomatı içinde yaşarız (ve bunun bir parçasıyızdır). Bir sınıf IV otomatının geleceğini gelecek ortaya çıkmadan tahmin edemeyiz. Dr. Wolfram'a göre bu durum özgür iradeye imkân vermek için yeterlidir.

Evrene belirlenmiş fakat tahmin edilemez gelecek olaylar için bakmıyoruz. Watson üzerinde çalışan hiçbir bilim insanı Watson'ın neler yapacağını tahmin edemez çünkü program oldukça karmaşık ve değişken ve Watson'ın performansı herhangi bir insanın uzmanlaşması için çok çok geniş olan bilgiyi temel alıyor. Eğer insanların özgür irade sergilediğine inanırsak buradan Watson'ın ya da Watson benzeri makinelerin de bunu sergileyeceği sonucu çıkacağına izin vermeliyiz.

İnanç sıçramam şudur ki, insanların özgür iradeye sahip olduğunu düşünüyorum ve böyleymiş gibi davrandığımda bunu gösteren kararlarım arasından bir örnek bulmakta zorlanıyorum. Bu kitabı yazma kararımı düşünün – bu kararı hiç almadım. Daha çok bir kitap fikri buna benim yerime karar verdi. Genelde kendimi, kendilerini neokorteksime eken bu fikirlerin tutsağı hâlinde bulurum. Otuz altı yıl önce (bir başka insanla işbirliği içinde) verdiğim evlenme kararına ne demeli? Zamanında, güzel bir kızdan etkilenirken –ve peşinde koşarken– aynı programı uyguluyordum. Daha sonra âşık oldum. Özgür irade bunun neresinde?

Gün içerisinde verdiğim küçük kararlara ne demeli – örneğin, kitabımı yazarken seçtiğim sözcükler? Sanal bir parça kâğıtla başlarım. Ne yapacağımı bana kimse söylemez. Omzumdan beni izleyen bir editör yok. Seçimlerim *tamamen* bana bağlı. Özgürüm *–tamamen özgür– ne olursa olsun* istediğimi...

Ah, *grok...*

Grok? Tamam, yaptım – sonunda özgür irademi uyguladım. "Yazarım" sözcüğünü yazacaktım fakat bunun yerine tamamen beklenmeyen bir şey yazdım. Bu belki de saf özgür irade egzersizi yaparken ilk kez başarılı oluşum.

Ya da değil. Bunun bir irade gösterimi olmadığı aşikâr, daha çok bir noktayı açıklamaya çalışmaktır (ve belki de zayıf bir mizah anlayışıdır).

Descartes'ın bilinçli olduğuma dair güvenini paylaşıyor olsam da özgür irade konusunda çok emin değilim. Schopenhauer'in "istediğiniz her şeyi yapabilirsiniz fakat hayatınızın belirli bir anında belirli tek bir şey *isteyebilirsiniz* ve bu şeyden başka kesinlikle hiçbir şey istemezsiniz."[20] Yine de özgür iradem varmış gibi devam edeceğim ve buna inanma sebeplerim açıklayamayacak kadar uzun.

KİMLİK

Bir filozof bir keresinde aşağıdaki rüyayı gördü.

Önce Aristoteles göründü ve filozof ona "Tüm felsefeni anlatan on beş dakikalık hap gibi bir bilgi verebilir misin?" dedi. Aristoteles filozofu şaşırtacak derecede mükemmel bir şekilde çok büyük miktardaki materyali sadece on beş dakikaya sığdırdı. Ancak sonra filozof belirli bir itiraz sundu ve Aristoteles buna cevap veremedi. Aristoteles kafası karışmış bir şekilde gözden kayboldu.

Daha sonra tarihteki tüm filozoflar teker teker filozofumuza göründü ve filozofumuz onları da aynı itirazla çürüttü.

Son filozof kaybolduktan sonra filozofumuz kendine "Uyuduğumu ve bunların hepsini rüyamda gördüğümü biliyorum. Yine de tüm felsefi sistemler için evrensel bir çürütme yöntemi buldum! Yarın uyandığımda bunu muhtemelen unutacağım ve dünya bir şeyi kaybetmiş olacak!" dedi. Bir çaba, filozof kendini uyanmaya, masasının başına geçmeye ve evrensel itirazını yazmaya zorladı. Sonra bir rahatlamayla yatağına zıpladı.

Ertesi sabah uyandığında masasına gidip ne yazdığına baktı. Yazdığı şey, "Bu *sizin* söylediğiniz şey" idi.

– David Chalmers'ın Raymond Smullyan'dan bir alıntısı[21]

Bilinçli miyim yoksa özgür iradeyi mi uyguluyorum sorusuyla ilgili en çok merak ettiğim şey kitap yazan, yürüyüşten ve bisiklete binmekten hoşlanan, besin takviyesi alan ve sair, bu belirli kişinin deneyim ve kararlarının neden bilincinde olduğumdur. Açık bir cevap "Çünkü bu sensin" olabilirdi.

Bu takas muhtemelen yukarıdaki bilinç ve özgür irade ile ilgili sorulara verdiğim cevaptan daha totolojik değil. Ancak aslında bilinçliliğimin neden bu belirli insanla ilişkili olduğu sorusuna daha iyi bir cevabım var: Çünkü bu, kendimin olması için yarattığım kişidir.

Yaygın bir özdeyiş "Sen, ne yiyorsan O'sun" sözüdür. "Ne düşünüyorsan O'sun" demek daha da doğru. Tartıştığımız gibi neokorteksimdeki kişiliğimi, becerilerimi ve bilgimi tanımlayan tüm hiyerarşik yapılar kendi düşüncelerimin ve deneyimlerimin sonucudur. Etkileşimde bulunmayı seçtiğim insanlar ve fikirler, içine girmek istemeyi seçtiğim projeler kime dönüştüğümün belirleyicileridir. Bu sebeple, yediklerim de neokorteksim tarafından alınan kararları yansıtır. Özgür irade ikiliğinin olumlu tarafını bir anlığına kabul edecek olursak beni oluşturan şeyler benim kararlarımdır.

Kişiliğimizin nasıl oluştuğunu bir kenara koyarsak her birimiz kimliğimizin devamlılık göstermesini arzularız. Hayatta kalma isteğiniz olmasaydı şu an bu kitabı okumuyor olurdunuz. Her yaratık aynı hedefe sahiptir – bu evrimin baş belirleyicisidir. Kimlik meselesi ise muhtemelen bilinçlilik ya da özgür iradeden daha zordur fakat tartışmaya açık şekilde daha önemlidir. Sonuçta, varlığımızı korumak için ne olduğumuzu bilmemiz gerekir.

Şu düşünme deneyini düşünün: Bugünün teknolojilerinden daha ileri teknolojilerin olduğu bir gelecektesiniz. Uyurken, bir grup beyninizi tarıyor ve dikkat çekici tüm detayları topluyor. Belki de bunu bir kan hücresi büyüklüğünde olan ve beyninizin kılcal damarlarında dolaşan tarama cihazlarıyla ya da uygun, zarar vermeyecek başka bir teknolojiyle yapıyorlar fakat belirli bir anda beyninizde olan tüm bilgiye sahipler. Zihinsel evrenizi yansıtabilecek herhangi bir vücutsal detayı, örneğin hormon sistemini de toplayıp kaydediyorlar. Bu "zihin dosyasını" sizin gibi görünen ve sizin gibi hareket eden, biyolojik olmayan, zorunlu zekâyı ve esnekliği size geçirebilecek bir vücutta somutlaştırıyorlar. Sabah bu geçişten haberdar oluyorsunuz ve (muhtemelen farkında olmadan) zihin klonunuzu izliyorsunuz ki bu kişiye Siz 2 diyeceğiz. Siz 2 kendi hayatıyla ilgili sizmiş gibi konuşuyor ve aynı günün sabahında daha dayanıklı olan yeni versiyon 2.0 vücuduna sahip oluşunu nasıl keşfettiğini anlatıyor. "Hey, galiba bu vücudu sevdim!" diye haykırıyor.

Düşünülecek ilk soru: Siz 2 bilinçli midir? Gerçekten öyle görünüyor. Daha önce açıkça belirttiğim testi geçiyor, bir his olmak ve bilinçli olmak ile ilgili göze çarpmayan işaretlere sahip. Eğer bilinçliyseniz, Siz 2 de öyle.

O zaman eğer gözden kaybolursanız kimse fark etmez. Siz 2, siz olduğunu iddia ederek ortalıkta dolaşır. Tüm arkadaşlarınız ve sevdikleriniz durumdan memnun olur ve muhtemelen eskisinden daha dayanıklı bir vücuda ve zihinsel alt maddeye sahip olduğunuz için sizin adınıza sevinirler. Muhtemelen daha felsefi akıllı arkadaşlarınız endişelerini açıklar fakat çoğunlukla siz ya da en azından, ikna edici bir şekilde siz olduğunu iddia eden kişi de dahil, herkes mutlu olur.

Dolayısıyla eski vücudunuza ve beyninize artık ihtiyacınız yok değil mi? Yani bunları ortadan kaldırsak da olur mu?

Muhtemelen bununla idare edemeyeceksiniz. Taramanın zarar verici olmadığını belirtmiştim dolayısıyla hâlâ ortalıkta dolaşıyorsunuz ve hâlâ bilinçlisiniz. Dahası, kimlik algınız da hâlâ sizinle birlikte, Siz 2 sizin bir devamınız olduğunu düşünse dahi kimlik algınız onunla birlikte değil. Siz 2 başından beri sizin var olduğunuzun ya da var olacağınızın farkında olmayabilir.

Aslında, size bununla ilgili bir şey söylemesek siz de Siz 2'nin varlığının farkında olmayabilirdiniz.

Sonucumuz? Siz 2 bilinçlidir fakat sizden farklı bir insandır – Siz 2'nin farklı bir kimliği vardır. Yalnızca bir genetik klonundan daha çok size benzer çünkü tüm neokortikal şekillerinizi ve bağlantılarınızı sizinle paylaşır. Ya da bu şekilleri yaratıldığı anda sizinle paylaştı demeliyim. Bu noktada, neokortikal açıdan konuşmak gerekirse, ikiniz kendi yollarınıza gitmeye başladınız. Siz hâlâ etraftasınız. Siz 2 ile aynı deneyimleri yaşamıyorsunuz. Sözün özü Siz 2 siz değildir.

Tamam, şimdiye kadar iyi gidiyoruz. Şimdi başka bir düşünme deneyi düşünelim – inanıyorum ki bu geleceğin getirecekleri hakkında daha gerçekçi bir deney. Beyninizin çok küçük bir parçasının biyolojik olmayan bir birimle değiştirileceği bir ameliyata giriyorsunuz. Bunun güvenli olduğundan eminsiniz ve çeşitli faydaların olacağına dair raporlar var.

Bu ihtimal dışı değil zira sinirsel ve duyusal bozuklukları olan insanlar rutin bir şekilde bu ameliyata giriyor, örneğin Parkinson hastalığı için yapılan sinirsel implantlar ya da sağırlar için yapılan kohlea implantları gibi. Bu durumlarda bilgisayarlaştırılmış araçlar beynin dışında olsa da yine de beyne bağlantılı bir şekilde vücuda yerleştiriliyor (ya da kohlea implantlarında işitsel sinire yerleştiriliyor). Görüşümce, gerçek bilgisayarın fiziksel olarak gerçek beynin dışına yerleştirilmesi gerçeği felsefi olarak belirgin değildir: Etkili bir şekilde beyni büyütüyor ve artık düzgün bir şekilde gerçekleşmeyen işlevlerini bilgisayarlaştırılmış bir aletle değiştiriyoruz. 2030'larda, akıllı bilgisayarlaştırılmış aletler kan hücrelerinin boyutu kadar olacak (ve aklınızda olsun beyaz kan hücreleri hastalık yapıcı mikropları tanımak ve onlarla savaşmak için yeteri kadar akıllıdır) ve bu aletleri zarar vermeyecekleri şekilde ameliyata gerek duymadan vücuda tanıtacağız.

Gelecek senaryomuza geri dönecek olursak, işleme giriyorsunuz ve söz verildiği gibi iyi şekilde çalışıyor – bazı becerileriniz gelişiyor. (Belki de, artık daha iyi bir hafızanız var.) Pekâlâ siz hâlâ siz misiniz? Arkadaşlarınız kesinlikle öyle olduğunu düşünüyor. Siz de öyle düşünüyorsunuz. Aniden farklı bir insan oldunuz cümlesi iyi bir argüman değil. Belli ki bir şeydeki değişikliği etkileme için işlem gördünüz fakat siz hâlâ aynı sizsiniz. Kimliğiniz değişmedi. Bir başkasının bilinci sizin vücudunuzu ele geçirmedi.

Tamam, şimdi bu sonuçlardan cesaret alarak başka bir işlem görmeye karar veriyorsunuz, bu sefer beynin başka bir bölgesini içeriyor. Sonuç aynı: Yeteneklerinizde bir gelişme ile karşılaşıyorsunuz fakat siz hâlâ sizsiniz.

Bu örneklerle nereye yöneldiğim belli. İlave prosedürler seçmeye devam ediyorsunuz, sürece olan güveniniz hep artıyor ta ki beyninizdeki her parçayı değiştirene dek. Her seferinde işlem, kişiliğinizi, becerilerinizi ya da anılarınızı kaybetmemeniz ve dolayısıyla tüm neokortikal şekillerinizi ve bağlantılarınızı korumanız için dikkatli bir şekilde gerçekleştiriliyor. Hiçbir zaman siz ve Siz 2 olmuyor; sadece siz varsınız. Siz dahil hiç kimse varlığınızın son bulduğunu fark etmiyor. Gerçekten – buradasınız.

Vardığımız sonuç: Hâlâ var olduğunuz. Burada bir ikilem yok. Her şey yolunda.

Şu hariç: Kademeli yenileme süreçlerinden sonra tamamen önceki düşünme deneyindeki Siz 2'ye eş oluyorsunuz (ki buna tara-ve-kanıt sun senaryosu adını veriyorum). Kademeli yenileme senaryosundan sonra, başlangıçta sahip olduğunuz tüm neokortikal şekilleriniz ve bağlantılarınıza sadece biyolojik olmayan bir maddede sahipsiniz ki bunlar tara-ve-kanıt sun senaryosunda Siz 2 için de geçerlidir. Kademeli yenileme senaryosundan sonra işlemden öncesine göre bazı ek becerilere ve daha iyi dayanıklılığa sahip oluyorsunuz ancak bu tara-ve-kanıt sun sürecindeki Siz 2 için de doğrudur.

Ancak Siz 2'nin siz olmadığınız sonucuna varmıştık. Eğer kademeli yenileme sürecinden sonra tamamen tara-ve-kanıt sun sürecinden sonraki Siz 2'ye eş olursanız, o zaman kademeli yenileme sürecinden sonraki siz de siz olmamalısınız.

Ancak bu bir önceki sonucumuzla çelişiyor. Kademeli yenileme süreci birçok adımdan oluşur. Bu adımların her biri kimliği koruyormuş gibi görünüyor, tıpkı bugün, bir Parkinson hastasının sinirsel implant yerleştirildikten sonra aynı kimliğe sahip olmaya devam etmesi gibi.[22]

Bu durum; insanları, yenileme senaryolarının (şu anda gerçekleşiyor olsalar da) asla gerçekleşmeyeceği çıkarımına götüren böylesi bir felsefi ikilik türüdür. Ancak şunu düşünün: Doğal yollarla yaşamımız boyunca kademeli bir yenileme sürecinden geçiyoruz. Vücudumuzdaki hücrelerimizin çoğu sürekli olarak yenilenirler. (Son cümleyi okurken hücrelerinizin 100 milyon tanesi yenilendi.) İnce bağırsağınızın iç kaplamasındaki hücreler midenizin koruyucu kaplamasında olduğu gibi yaklaşık bir haftada devredilir. Beyaz kan hücrelerinin ömrü, türlerine göre birkaç günden birkaç aya kadar değişiklik gösterir. Kan pulcuklarının ömrü dokuz gün kadardır.

Sinirler devamlılık gösterir fakat organelleri ve onları oluşturan moleküller bir ayda değişir.[23] Bir sinir mikrotübülünün yarı ömrü on dakika kadardır; dendritlerdeki aktin iplikler kırk saniye kadar dayanır; sinapslara

enerji sağlayan proteinler saat başı yenilenir; sinapslardaki NMDA reseptörleri görece daha uzun yaşar, ömürleri beş gündür.

Dolayısıyla aylar içerisinde tamamen yenilenmiş olursunuz ki bu, yukarıda tarif ettiğim yenileme senaryosuyla kıyaslanabilir. Birkaç ay önce olduğunuzla aynı kişi misiniz? Elbette burada bazı farklılıklar var. Belki birkaç yeni şey öğrendiniz. Ancak, sürekli olarak yıkılıp yeniden yaratılmadığınızı, kimliğinizin devam ettiğini varsayıyorsunuz.

Bir nehir düşünün, ofisimin yanından geçen nehre benzer olsun. İnsanların Charles Nehri dediği şeye şu anda baktığımda, bu dün gördüğümle aynı nehir midir? Sözlük nehri "büyük, doğal su akışı" olarak tanımlıyor. Bu tanıma göre, gördüğüm nehir dün gördüğüm nehirden tamamen farklıdır. Oldukça hızlı gerçekleşen bir süreçle, tüm su molekülleri değişti. Yunan filozof Laertius Diogenes M.S. 3. yüzyılda "aynı nehre iki kez girilmez" demiştir.

Ancak bu nehirlere bakış açımız değildir. İnsanlar nehirlere bakmayı sever çünkü nehirler devamlılığın ve istikrarın simgesidir. Genel görüşte, dün baktığım Charles Nehri bugün baktığım nehirle aynıdır. Yaşamlarımız da bununla aşağı yukarı aynıdır. Temel olarak bizler vücudumuzu ve beynimizi oluşturan madde değiliz. Bu parçacıklar temelde nehirde akan su molekülleri gibi bizim içimizde akarlar. Yapımızı oluşturan şeyler hızlıca değişse de yavaşça değişen fakat istikrarlı ve devamlı bir yapımız var.

Vücutlarımıza ve beyinlerimize biyolojik olmayan sistemlerin kademeli bir şekilde girişi, bizi oluşturan parçaların sürekli devrine başka bir örnek olacaktır. Kimliğimizin devamlılığını, biyolojik hücrelerimizin yaptığı doğal yenilemelerden daha çok değiştirmeyecek. Şimdiden çoğunlukla tarihsel, entelektüel, sosyal ve kişisel anılarımızı kullandığımız aletlere ve bulut sistemine aktardık. Bu anılara ulaşmak için etkileşim kurduğumuz araçlar henüz vücudumuzda ya da beynimizde bulunmayabilir fakat boyutları küçüldükçe (teknolojiyi, üç boyutlu hacim on yılda yüzde biri oranına gelecek şekilde sıkıştırıyoruz), vücudumuza ve beyinlerimize girecekler. Herhangi bir olayda, vücudumuz ve beynimiz bu araçları yerleştirmek için iyi bir yer olacak – bu şekilde onları kaybetmeyeceğiz. Eğer insanlar vücutlarına çok ufak aletler yerleştirmekten vazgeçerse bu sorun olmayacak zira her taraf yayılan bulut zekâsına ulaşmak için farklı yollar olacak.

Ancak daha önce bahsettiğim ikiliğe geri dönüyoruz. Siz, kademeli yenileme sürecinden sonra tara-ve-kanıt sun senaryosundaki Siz 2'ye eş olacaksınız fakat bu senaryodaki Siz 2'nin sizinle aynı kimliğe sahip olmadığına karar verdik. Pekâlâ bu durum bizi nerede bırakıyor?

Bu bizi biyolojik sistemlerin sahip olmadığı ve biyolojik olmayan sistemlerin sahip olduğu bir beceriyi takdir etme noktasında bırakıyor: kopyalanabilme, yedeklenebilme ve yeniden yaratılabilme becerisi. Bunu kullandığımız araçları için rutin bir şekilde yapıyoruz. Yeni bir akıllı telefon aldığımızda tüm dosyalarımızı buraya kopyalıyoruz, bu şekilde eski akıllı telefonumuzla neredeyse aynı kişiliğe, beceriye ve anılara sahip oluyor. Belki, yeni akıllı telefonumuz yeni becerilere de sahip oluyor ancak eski telefonun içeriği hâlâ bizimle birlikte. Benzer bir şekilde Watson gibi bir program kesinlikle yedeklenir. Eğer Watson donanımı yarın imha edilseydi, Watson bulutta saklanan yedekleme dosyalarından tekrar yaratılabilirdi.

Bu, biyolojik dünyada var olmayan, biyolojik olmayan dünyadaki beceriyi gösterir. Bu bir kısıtlama değil, bir avantajdır ki bu sayede bugün, anılarımızı buluta yüklemeye devam etmeye neden bu kadar istekli olduğumuzun nedenidir. Biyolojik olmayan sistemler biyolojik beyinlerimizin becerilerinin daha da fazlasına eriştikçe, elbette ki bu doğrultuda devam edeceğiz.

İkiliğe bulduğum çözüm şudur: Siz 2'nin siz olmadığı doğru değildir – o sizdir. Şu anda iki tane siz varsınız. Bu çok kötü değil – eğer iyi bir şey olduğunuzu düşünüyorsanız sizden iki tane olması daha da iyi bir şeydir.

Gerçekten var olacağına inandığım şey kademeli yenileme ve çoğalma senaryosu yolunda devam edeceğimizdir ta ki en sonunda düşünmemizin çoğu buluta yerleşene kadar. Kimlik konusundaki inanç sıçramam kimliğin, bizi oluşturan bilgi şeklinin devamlılığıyla korunmasıdır. Devamlılık sürekli değişime izin verir, dolayısıyla dün olduğumdan farklı olsam da yine aynı kimliğe sahibim. Bununla birlikte, kimliğimi oluşturan şeklin devamlılığı alt maddeye bağlı değildir. Biyolojik alt maddeler harikadır –bunlarla çok mesafe kat ettik– fakat çok iyi nedenler için daha becerikli ve dayanıklı bir alt madde yaratıyoruz.

ONUNCU BÖLÜM

İvmelenen Geri Dönüşler Kuralının Beyne Uygulanması

İnsan varlığını sürdürmeli ise de, bazı açılardan, daha yüce olan yaratık doğanın uygulaması doğrultusunda insan değildir ki bu da tümde hayvanlara bazı şeylerdeki insanları gölgede bırakan üstünlüğünü vermez mi? Doğa karıncaya ve arıya topluluklarının organizasyonunda ve sosyal düzenlerinde insandan üstün olmalarını sağlayıp; havada süzülen kuşu, yüzen balığı, güçlü ve çevik atı ve kendini kurban eden köpeği üstün kılmadı mı?

– Samuel Butler, 1871

Dünyanın hem hayvan hem bitki hayatından görünürde bütünüyle yoksun olduğu bir zaman vardı, en iyi filozoflarımızın düşüncelerine göre dünya yavaş yavaş soğuyan kabuğuyla basitçe, sıcak bir alev topuydu. Yeryüzü bu haldeyken insan var olsaydı ve endişe duymayacağı başka bir dünyaymış gibi yeryüzü insana gösterilseydi ve aynı zamanda insan tüm fiziksel bilimden bilgisiz olsaydı, dikkatle izlediği yanmış kömür gibi görünen şeyden bilinç gibi bir şeye sahip olan yaratıkların evrimleşmesinin imkânsız olduğunu söylemez miydi? Herhangi bir bilinç potansiyeli içerdiğini inkâr etmez miydi? Yine de, zamanla bilinç oluştu. O halde, şimdiki zamanda herhangi bir işaret fark edemesek de arayıp bilinç bulacağımız yeni kanallar mümkün değil midir?

– Samuel Butler, 1871

Çoktan evrimleşmiş yaşamın ve bilinçliliğin çok katmanlı aşamalarını düşündüğümüzde diğerlerinin gelişemeyeceğini ve hayvan yaşamının her şeyin sonu olduğunu söylemek aceleci olurdu. Ateşin her

şeyin sonu olduğu bir zaman vardı: bir başka zamanda da kayalar her şeyin sonuydu.

– SAMUEL BUTLER, 1871

Makinelerin şimdilerde biraz bilince sahip olması gerçekliği içinde, mekanik bilincin nihai gelişimine karşı hiçbir güvenlik yoktur. Bir yumuşakça pek fazla bilince sahip değildir. Hayvan ile bitki krallığının ne kadar yavaş ilerlediğini not ederek makinelerin son birkaç yüzyılda ulaştığı olağanüstü ilerlemeyi düşünün. Dünkünden farklı bir şekilde daha iyi düzenlenmiş makineler son beş dakikaya göre, yani geçmiş zamanla kıyaslandığında yaratıklardır. Varsayalım ki bilinçli varlıklar yirmi milyon yıldır var olsunlar: makinelerin son bin yılda attadığı adımlara bakın! Dünya yirmi milyon yıl daha fazla yaşamaz mı? Eğer öyleyse sonunda makinelerin dönüşmeyecekleri şey nedir?

– SAMUEL BUTLER, 1871

Esas tezim, ki buna ivmelenen geri dönüşler kanunu (İGDK) adını veriyorum, bilgi teknolojisinin geleneksel "geleceği tahmin edemezsiniz" görüşüyle çelişerek, temel ölçülerinin tahmin edilebilir ve üssel yörüngeler takip ettiğidir. Hâlâ bilinmez olan birçok şey var –hangi proje, şirket ya da teknik standardın piyasada üstün geleceği, Ortadoğu'ya barışın ne zaman geleceği– fakat bunun altında yatan fiyat/performans ve bilgi kapasitesinin, yine de, dikkate değer bir şekilde tahmin edilebilirliği kanıtlandı. Şaşırtıcı bir şekilde bu yönelimler savaş ya da barış ve refah ya da durgunluk gibi durumlar tarafından saptırılmıyor.

Evrimin beyinleri yaratmasının birincil sebebi geleceği öngörmekti. Binlerce yıl önce atalarımızdan biri geniş çayırlarda yürürken bir hayvanın kendisinin ilerlediği güzergâhta gelişme gösterdiğini fark etmiş olabilir. Eğer bu rotada devam ederse bu hayvanla yollarının kesişeceğini tahmin etmiş olabilir. Buradan hareketle başka bir doğrultuda ilerlemeye karar verdi ve öngörüsünün yaşam mücadelesi için değerli olduğu kanıtlandı.

Ancak geleceğin buna benzer dahili öngörü unsurları üstel değil doğrusaldır ki bu da neokorteksin doğrusal düzeninden kaynaklanan bir nitelik-tir. Neokorteksin durmaksızın tahmin yürüttüğünü hatırlayın – göreceğimiz bir sonraki harf ve sözcük ne olacak, köşeyi döndükten sonra kimi görmeyi bekliyoruz gibi. Neokorteks her şekilde var olan doğrusal adım dizileriyle düzenlenmiştir ki bu da üstel düşünmeye doğal bir şekilde sahip olmadığımız anlamına gelir. Beyincik de doğrusal tahminleri kullanır. Uçan bir topu ya-

kalamamız için yardım ederken görsel alanımızda topun nerede olacağını ve onu yakalamak için elimizin nerede olması gerektiği hakkında doğrusal tahminler yapar.

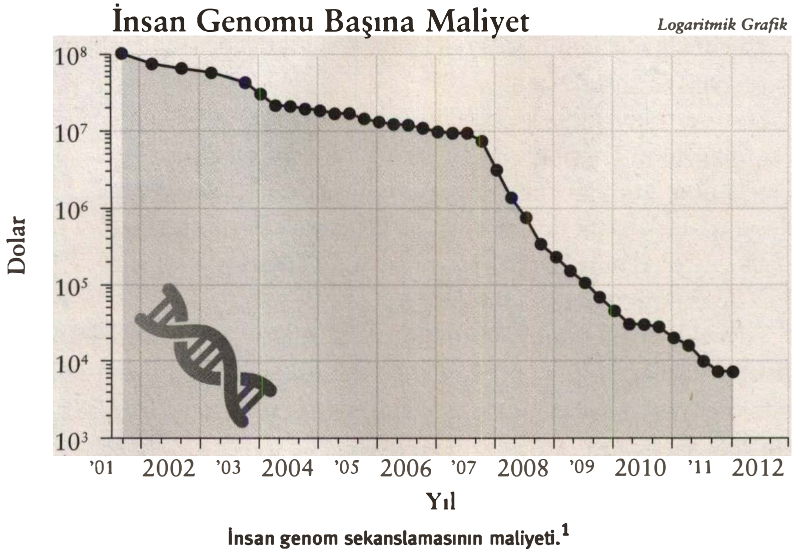
İşaret ettiğim gibi, doğrusal ve üstel ilerleme arasında etkileyici bir fark vardır (kırk adım doğrusal olarak kırk adım eder fakat üstel olarak bir trilyondur) ki bu fark da ivmelenen geri dönüşler kuralından kaynaklanan tahminlerimin ilk bakışta gözlemcilere şaşırtıcı gelmesinin sebebidir. Üstel düşünmek için kendimizi eğitmeliyiz. Bilgi teknolojilerine geldiğimizde üstel düşünme, doğru düşünme yoludur.

İvmelenen geri dönüşler kuralının özü bilgisayımın fiyat/performansının mükemmel bir şekilde pürüzsüz, iki kat üstel şekilde büyümesidir ki bu iki dünya savaşı, Büyük Bunalım, Soğuk Savaş, Sovyetler Birliği'nin çöküşü, Çin'in yeniden doğuşu, yakın zamanda olan ekonomik kriz ve geç 19., 20. ve erken 21. yüzyılı kapsayan 110 yıl boyunca sabit kalmıştı. Bazı insanlar bu olayı "Moore yasası" olarak görüyor fakat bu bir kavram yanılgısıdır. Moore yasası –bütünleşmiş bir devreye her iki yılda bir iki katı daha fazla bileşen yerleştirebileceğinizi ve bu bileşenler daha küçük oldukları için daha hızlı çalıştıklarını ifade eder– birçokları arasından sadece bir örnektir. Aslında bu yasa, bilgisayımın fiyat/performans oranının üstel büyümesini ortaya çıkaran ilk değil beşinci örnektir.

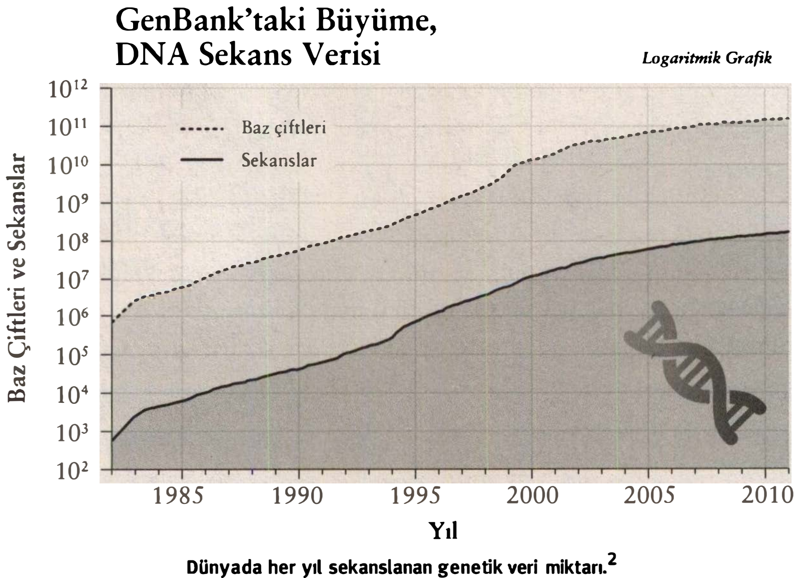
Bilgisayımın çok hızlı gelişimi; Gordon Moore doğmadan yıllar önce, elektromekanik hesaplamanın ilk örneği kullanılarak 1890'da ABD nüfus sayımıyla (otomatikleştirilmiş ilk nüfus sayımı) başladı. *Singularity Is Near*'da bu grafiği 2002 yılına kadar çizdim ve burada da grafiği 2009'a kadar güncelledim (sayfa 219'daki "Bilgisayımın 100 Yıl İçinde Giderek Artan Büyümesi" başlıklı grafiğe bakınız). Pürüzsüz bir şekilde tahmin edilebilen yörünge yakın zamanlardaki sıkıntılı ekonomik duruma karşın devam etti.

Bilgisayım, bilgisayım için sahip olduğumuz veri miktarı, bilgisayımın aynı anda birçok yerde bulunması ve umursadığımız her şeyi kökten değiştirme rolü yüzünden ivmelenen geri dönüşler kanununun en önemli örneğidir. Ancak bu tek örnek olmaktan uzaktır. Bir teknoloji bilgi teknolojisi hâline geldiği anda İGDK'nın öznesi hâline gelir.

Biyomedikal (dirimsel tıp), teknolojinin ve endüstrinin bu şekli almasında en önemli alan hâline geliyor. Tıptaki gelişme tarihi bir şekilde tesadüfi keşiflere bağlıydı dolayısıyla önceki dönemde büyüme üstel değil doğrusaldı. Yine de bu faydalı oldu: beklenen yaşama süresi bin yıl önce yirmi üç yıl iken iki yüz yıl önce otuz yedi yıla bugün itibariyle de neredeyse seksen yıla



İnsan genom sekanslamasının maliyeti.[1]



Dünyada her yıl sekanslanan genetik veri miktarı.[2]

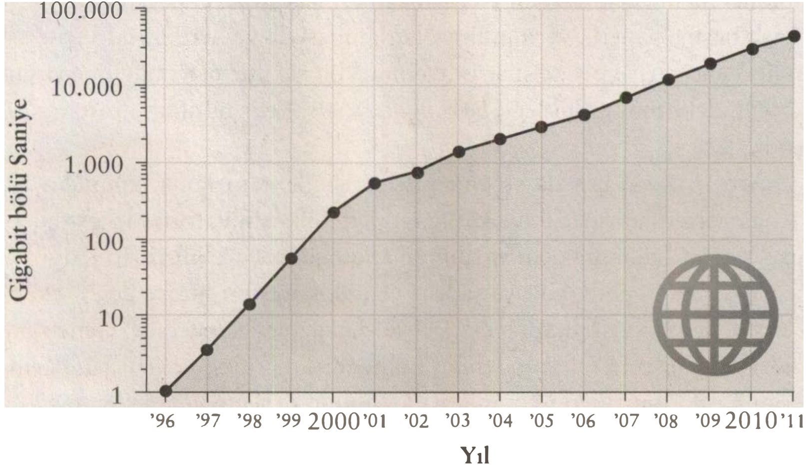
çıktı. Yaşamın yazılımını toplayarak –genom– tıp ve insan biyolojisi bir bilgi teknolojisi hâline geldi. İnsan Genom Projesi başladığı 1990 yılından bu yana, başlı başına genetik verinin ikiye katlanmasıyla ve her baz çifti için maliyetin her sene yarıya düşmesiyle mükemmel bir şekilde üstel büyüme yaşadı.[3] (Bu bölümdeki tüm grafikler *The Singularity is Near* basıldıktan sonra güncellendi.)

Artık bilgisayarlarda biyomedikal girişimler tasarlama ve bunları ölçüsü ve hassasiyeti her sene ikiye katlanan biyolojik simülatörlerde test edebiliyoruz. Ayrıca kullanılmayan yazılımımızı da güncelleyebiliriz: RNA girişimi süreciyle genler kapatılabilir ve sadece yeni doğmuş bir bireye değil fakat olgun bireye de yeni gen terapi biçimleriyle yeni genler eklenebilir. Genetik teknolojilerinin ilerlemesi beynin tersine mühendislik projesini, genlerin beyin işlevlerini nasıl kontrol ettiğini anlama açısından örneğin yeni eklenmiş kortikal bilgiyi düşünmek için yeni bağlantılar yaratarak etkiler. Biyoloji ve bilgi teknolojilerinin birleşmesi genom sekanslamasından genom sentezlemeye doğru ilerledikçe başka birçok belirti içerir.

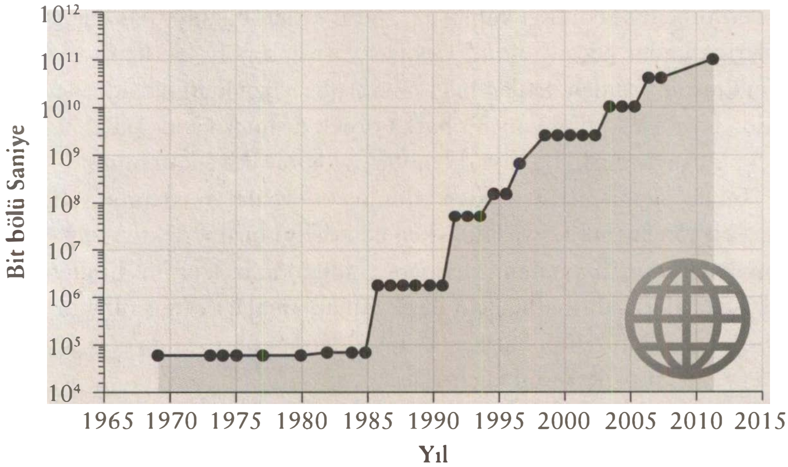
Pürüzsüz bir şekilde üstel büyüme yaşayan bir diğer bilgi teknolojisi de birbirimizle iletişim kurma ve insan bilgisinin geniş hazinesini aktarma yeteneğimizdir. Bu olguyu ölçmenin birçok yolu var. Kablosuz iletişimin verilen radyo spektrum miktarına göre toplam bit kapasitesinin her otuz ayda ikiye katlandığını belirten Cooper yasası, Guglielmo Marconi'nin 1897'de Mors kodu iletimi için kullandığı kablosuz telgraflardan bugünkü 4G iletişim teknolojilerine kadar geçerli oldu.[4] Cooper yasasına göre, verilen radyo spektrum miktarı üzerinden iletilen bilgi miktarı bir yüzyıldan fazladır her iki buçuk yılda bir ikiye katlanıyor. Bir başka örnek de internet üzerinde iletilen saniyedeki bit sayısıdır ki bu sayı da on beş ayda bir ikiye katlanır.[5]

Teknolojiyi belirli açılardan tahmin etmeye ilgi duymamın sebebi otuz yıl önce bir mucit (bu beş yaşındayken edindiğim bir meslektir) olarak başarılı olmak için zamanlamanın çok önemli olduğunu fark ettim. Çoğu mucit ve buluşlar cihazları çalışmadığı için değil zamanlamaları yanlış olduğu için başarısız olur, ya tüm zemin hazırlayıcı faktörlerden önce ya da çok geç ortaya çıkarlar ve fırsat penceresini kaçırırlar.

Bir mühendis olarak yaklaşık otuz yıl önce farklı alanlarda teknoloji ölçüleri üzerine veri toplamaya başladım. Bu çabaya başladığımda, bunun temiz bir resim sunacağını beklemiyordum fakat bana biraz yol göstereceğini ve doğru tahminlerde bulunmamı sağlayacağını umdum. Hedefim, kendi teknoloji çabalarımın zamanlamasını doğru yapmaktı –ki hâlâ öyle– böylelikle,



Dünyada internete ayrılan uluslararası (ülkeden ülkeye) bant genişliği.[6]



İnternet omurgasının en yüksek bant genişliği (hızı).[7]

bir projeyi tamamladığımda var olan dünya bu proje için uygun bir yer olacaktı, kaldı ki bu dünyanın projeye başladığımda var olan dünyadan çok farklı olabileceğinin farkındaydım.

Dünyanın yakın zamanda ne kadar çok ve ne kadar hızlı değiştiğini düşünün. Birkaç yıl önce, insanlar sosyal ağlar (Facebook örneğin, 2004'te kuruldu ve 2012 Mart ayının sonunda ayda 901 milyon aktif kullanıcısı vardı),[8] wiki'ler, blog'lar ya da tweet'ler kullanmıyordu. 1990'larda çoğu insan arama motorları ya da cep telefonları kullanmıyordu. Bunların olmadığı bir dünyayı hayal edin. Bu zamanlar antik çağlar kadar uzak görünüyor fakat çok eski zamanlar değiller. Yakın gelecekte dünya daha bile çarpıcı şekilde değişecek.

Araştırmamın izlediği yolda sarsıcı bir şey keşfettim: Eğer teknoloji bilgi teknolojisi ise, temel fiyat/performans ve kapasite ölçüleri (birim zaman ya da maliyette ya da başka bir kaynakta) şaşırtıcı şekilde kesin üstel yörüngeler izler.

Bu yörüngeler temel aldıkları belirli paradigmaların (örneğin Moore yasası) önüne geçerler. Ancak bir paradigma akımın dışında ilerlerse (örneğin mühendislerin 1950'lerde vakum tüplerinin boyut ve maliyetini daha fazla düşürememesi) bu bir sonraki paradigmayı yaratmak için araştırma baskısı yaratır ve bu şekilde gelişimde bir başka S eğrisi başlar.

Yeni paradigma için bir sonraki S eğrisinin üstel kısmı, bilgi teknoloji ölçüsünün hâlihazırda üsteli olmaya devam eder. Dolayısıyla 1950'lerdeki vakum tüp temelli bilgisayım 1960'larda yerini transistörlere verdi ve daha sonra 1960'ların sonunda tümleşik devreler ve Moore yasasına ve daha sonrasına yer verdi. Moore yasası sonradan üç boyutlu bilgisayıma yol açacak, bunun erken örnekleri şimdiden yerini aldı. Bilgi teknolojilerinin tutarlı bir şekilde herhangi belirli bir paradigmanın sınırlarını aşmasının sebebi bir bit bilgiyi saymak, hatırlamak ya da iletmek için gerekli olan kaynakların kaybolacak kadar küçük olmasıdır.

Bilgisayım ve bilgi iletim becerilerimizin herhangi bir paradigmadan bağımsız olarak temel sınırları var mıdır diye merak edebiliriz. Bu sorunun cevabı bilgisayım fiziğini şimdiki anlayışımıza göre evettir. Bununla birlikte, bu limitler pek sınırlayıcı değildir. Sonuçta zekâmızı moleküler bilgisayımı temel alarak trilyonlarca kat genişletebiliriz. Hesaplarıma göre bu sınırlara bu yüzyılın sonlarına doğru ulaşacağız.

Her üstel olgunun ivmelenen geri dönüşler kanununa bir örnek olmadığını göstermek önemlidir. Bazı gözlemciler İGDK'yi bilgi temelli olmayan üstel eğilimleri alıntılayarak yanlış yorumlar: Örneğin, tıraş bıçaklarının tek bıçaktan iki bıçağa, üç bıçaktan dörde çıktığını işaret edip sonrasında sekiz

bıçaklı tıraş bıçakları nerede diye sorarlar. Tıraş bıçakları (henüz) bir bilgi teknolojisi değil.

The Singularity is Near'da teorik bir inceleme sunuyorum, (bahsettiğim kitabın ek bölümünde) neden İGDK'nin dikkat çekici bir şekilde tahmin edilebilir olduğu dahil. Aslında son teknolojiyi bir sonraki teknolojiyi yaratmak için kullanırız. Teknolojiler birbiri üzerine üstel bir biçimde eklenir ve bu olgu bilgi teknolojisi içerdiğinde hazır bir şekilde ölçülebilir. 1990'da o çağdaki bilgisayarları ve diğer araçları 1991 bilgisayarlarını yaratmak için kullandık; 2012'de şu anki bilgi araçlarını 2013 ve 2014'ün makinelerini yaratmak için kullanıyoruz. Daha geniş anlamda bu ivmelenme ve üstel büyüme bilgi şekillerinin evrimleştiği herhangi bir sürece uygulanır. Dolayısıyla ivmeyi biyolojik evrim gidişinde ve kendi başına biyolojik evrimin doğal bir sonucu olan teknolojik evrimdeki ivmeye benzer (fakat daha hızlı) şekilde görürüz.

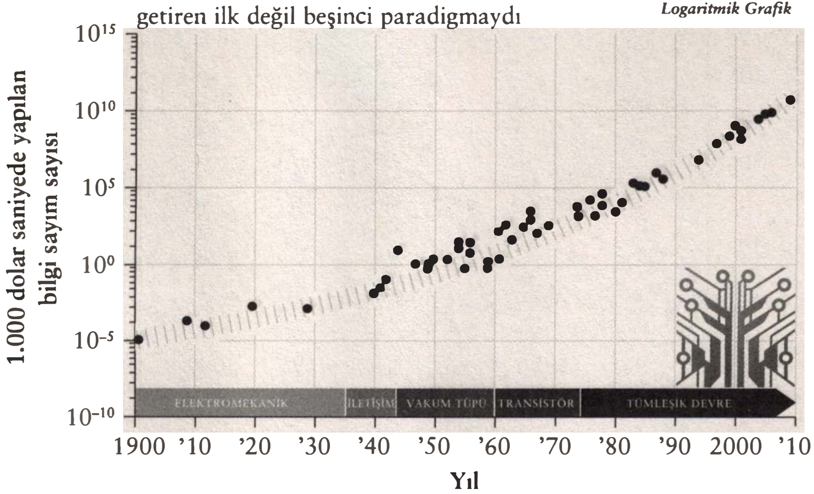
Şu an, ivmelenen geri dönüşler kanununu temel alan 25 yılı aşkın tahminlerin kamuya açık kaydına sahibim ki bu kayıtlar 1980'lerin ortasında yazdığım *The Age of Intelligent Machines*'de sunduklarımla başlıyor. Bu kitaptaki doğru tahmin örnekleri: 1990'ların ortasından sonlarına doğru dünya genelindeki insanları birbirleriyle ve tüm insan bilgisiyle bağlayan dünya çapında iletişim ağlarının ortaya çıkması; merkezi olmayan iletişim ağından ortaya çıkan büyük demokratikleşme dalgasının Sovyetler Birliği'ni yok etmesi; dünya satranç şampiyonunun 1998'de mağlup olması ve daha birçokları.

İvmelenen geri dönüşler kanunu bilgisayıma uygulandığı şekliyle yoğun bir şekilde *The Age of Spiritual Machines*'de tarif ettim ki burada bilgisayımın 1998 yılına kadar fiyat/performans gelişiminin iki kat daha üstel olduğunu gösteren bir yüzyıllık veriyi bulundurdum. Bu tablonun 2009'a kadar güncellenmiş hâli aşağıdadır.

Yakın zamanlarda *The Age of Intelligent Machines, The Age of Spiritual Machines* ve *The Singularity is Near* kitaplarında yaptığım tahminleri değerlendiren 146 sayfalık bir inceleme yazdım. (Bu son notta yer alan bağlantıya giderek denemeyi okuyabilirsiniz.)[9] *The Age of Spiritual Machines* belirli on yıllık dönemler için (2009, 2019, 2029 ve 2099) yapılan yüzlerce tahmin içeriyordu. Örneğin, 1990'larda yazdığım *The Age of Spiritual Machines*'de 2009 için 147 tahminde bulundum. Bunlardan 115 tanesi (% 78'i) 2009'un sonu itibariyle tamamen doğruydu; bilgi teknolojilerinin kapasite ve fiyat/performans'ın basit ölçümleriyle ilgilenen tahminler özellikle doğruydu. Diğer 12 tahmin (% 8) "aslında doğru" olanlar. Toplamda 127 tahmin (% 86) ya doğru ya da aslında doğru. (Tahminler verilen belirli on yıllık dönemler

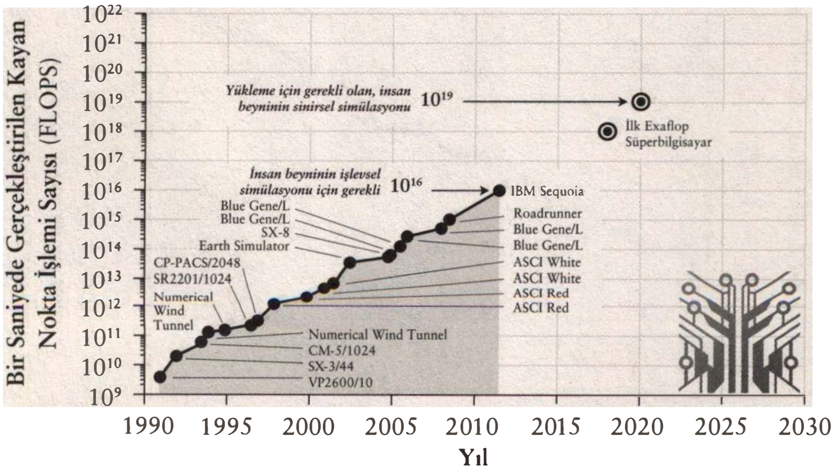
Bilgisayımın 100 Yıl İçinde Giderek Artan Büyümesi

Moore yasası bilgisayıma logaritmik büyümeyi getiren ilk değil beşinci paradigmaydı

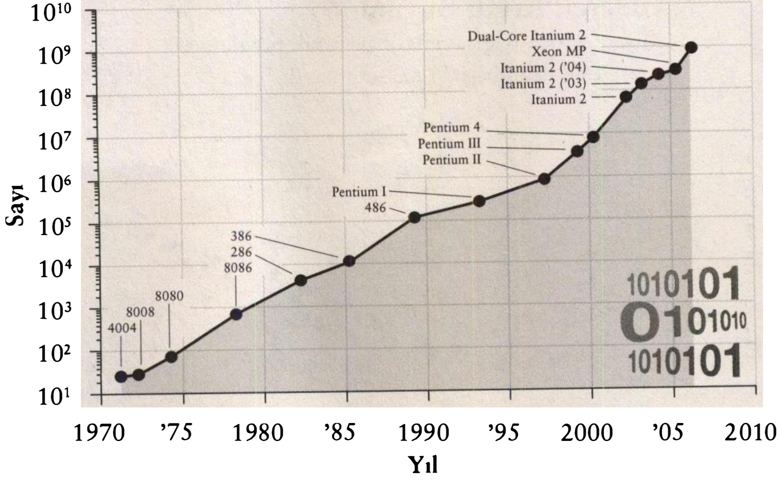


Değişen bilgi sayım cihazlarının (sabit) bin dolarda bir saniyede hesaplamaları.[10]

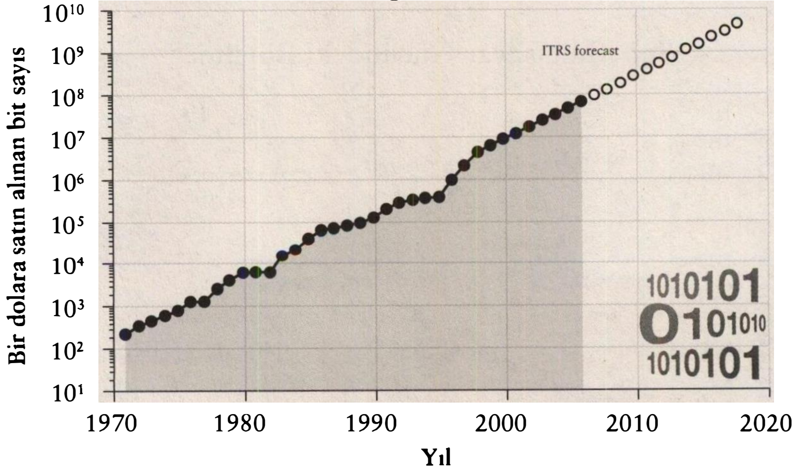
Süperbilgisayar Gücündeki Büyüme



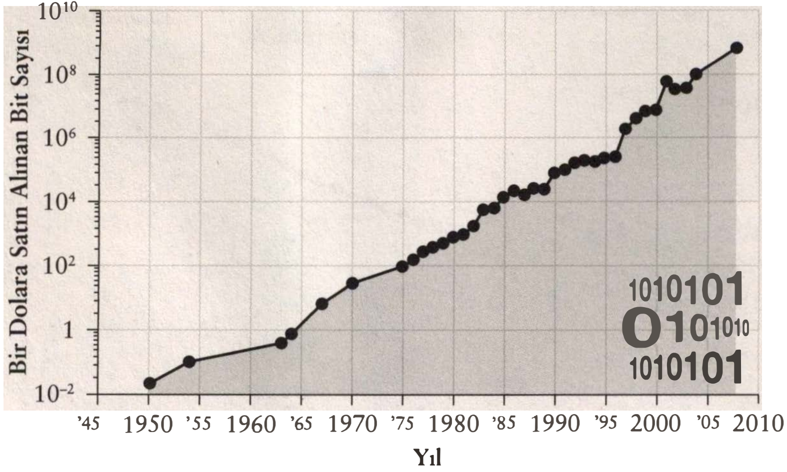
Farklı süperbilgisayarların, saniyede kayan nokta işlemi sayısı.[11]



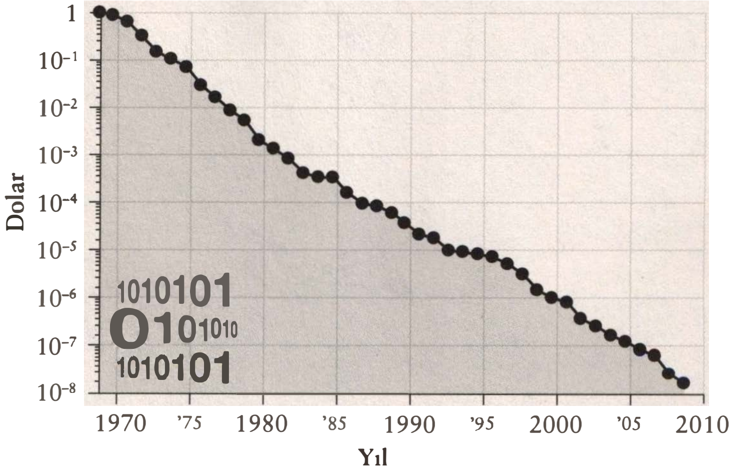
Farklı Intel işlemciler için bir çipteki transistör sayısı.[12]



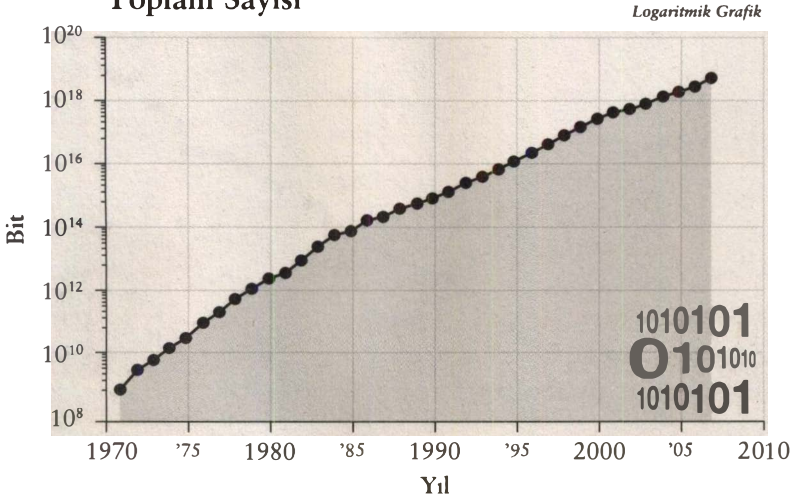
Dinamik rastgele erişim bellek çipleri için bir dolara denk gelen bit sayısı.[13]



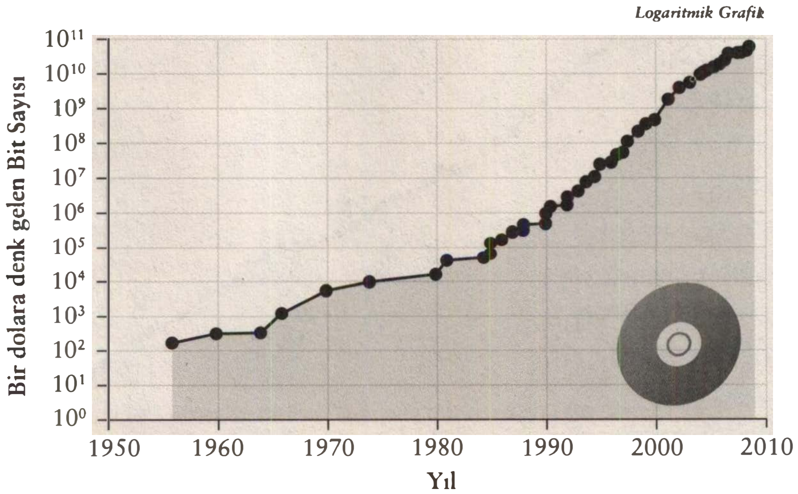
Rastgele erişim bellek çipleri için bir dolara denk gelen bit sayısı.[14]



Transistörler için dolar bazında ortalama fiyat.[15]



Her yıl nakledilen rastgele erişim belleklerdeki bitlerin toplam sayısı.[16]



Manyetik veri depolama için bir dolara (sabit 2.000 dolardaki) satın alınan bit sayısı.[17]

için yapıldığı için 2009 için yapılan bir tahmin eğer 2010'da ya da 2011'de doğru çıkarsa "aslında doğru" olarak kabul edildi.) Diğer 17 tahmin (% 12) kısmen doğru ve 3 tanesi (% 2) yanlış çıktı.

"Yanlış" çıkan tahminlerin bile hepsi yanlış değildi. Örneğin, kendi kendini süren arabalarımızın olabileceği tahminimi Google kendini sürebilen arabaları göstermiş ve Ekim 2010'da sürücüsüz dört elektrikli minibüs başarılı bir şekilde İtalya'dan Çin'e 13.000 kilometrelik test sürüşünü tamamlamış olsa da yanlış olarak saydım.[18] Bu alandaki uzmanlar şu anda bu teknolojilerin içinde bulunduğumuz onyılın sonuna kadar tüketici için kullanılabilir olacağını tahmin ediyorlar.

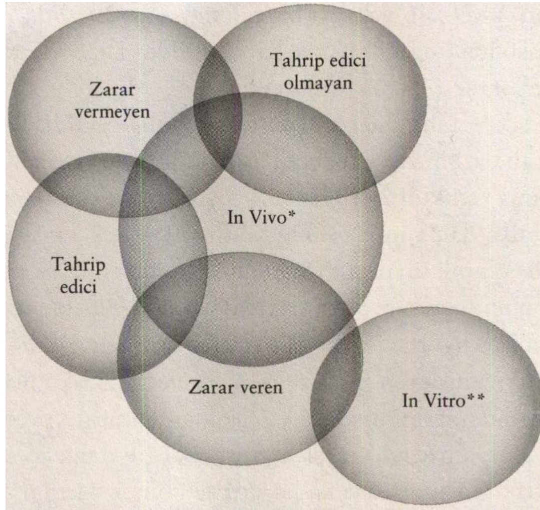
Üstel olarak genişleyen bilgisayımsal ve iletişim teknolojilerinin hepsi insan beyninin yöntemlerini anlama ve yeniden yaratma projesine katkıda bulunur. Bu çaba organize edilen tek bir proje değil, daha çok beynin bireysel nöronlardan tüm neokortekse kadar değişen bileşenlerinin detaylı modellemesini, "konektom" (beyindeki sinirsel bağlantılar) haritalaması, beyin bölgelerinin simülasyonu ve daha birçoklarını dahil eden çeşitli birçok projenin sonucudur. Bu kitapta sunulan kanıtların çoğu, son zamanlarda kullanılabilir hâle geldi – örneğin, Bölüm 4'te bahsi geçen neokorteksteki bağlantıların kafese benzer düzenli ve "basit" (araştırmacıları alıntılamak gerekirse) şekli 2012 tarihli Wedeen çalışması. Bu çalışmadaki araştırmacılar kendi içgörülerinin (ve görüntülerinin) ancak yüksek çözünürlüklü görüntüleme teknolojisi sonucunda uygulanabilir olduğunun bilgisini verdiler.

Beyin tarama teknolojileri çözünürlükte, uzaysal ve zamansal olarak çok hızlı oranda gelişiyor. İnsanlarda kullanılabilen farklı beyin tarama yöntem türleri tamamen zararsız olanlardan daha zararlı ya da hayvanlar üzerinde tahrip edici olanlara kadar değişiyor.

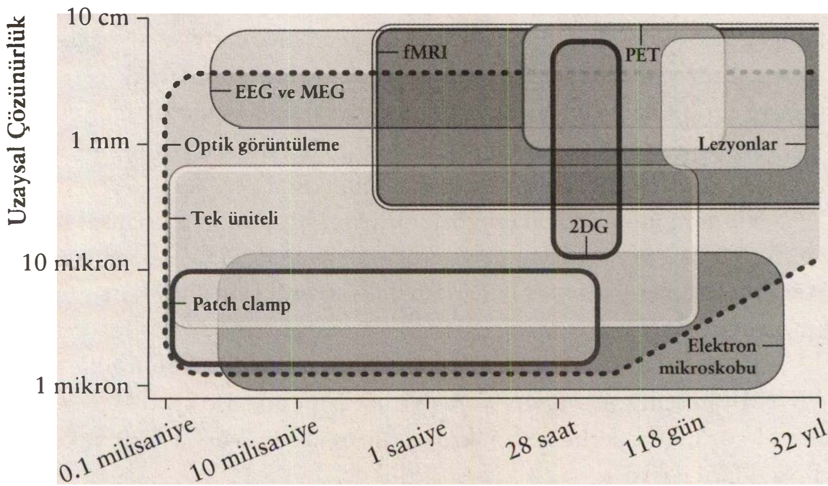
MR (manyetik rezonans), görece yüksek zamansal çözünürlükle zararsız bir görüntüleme tekniğidir ve üstel bir tempoda istikrarlı bir şekilde mekânsal çözünürlüklerin 100 mikrona (metrenin milyonda biri) yaklaştığı noktaya doğru gelişti.

Hayvan beyinlerinde konektomları (nöronlar arası tüm bağlantıların haritası) toplamak için kullanılan zarar veren görüntüleme de üstel bir tempoda gelişti. Şimdiki en yüksek çözünürlük dört nanometre civarında, ki bu rakam bireysel bağlantıları görmek için yeterlidir.

Yapay zekâ teknolojileri örneğin doğal dili anlama sistemleri zorunlu olarak kuramlaştırılan beyin fonksiyonlarını taklit etmek için değil en yüksek verim için tasarlandı. Bu sebeple sonuçta galip çıkan teknikler bu kitapta ana-



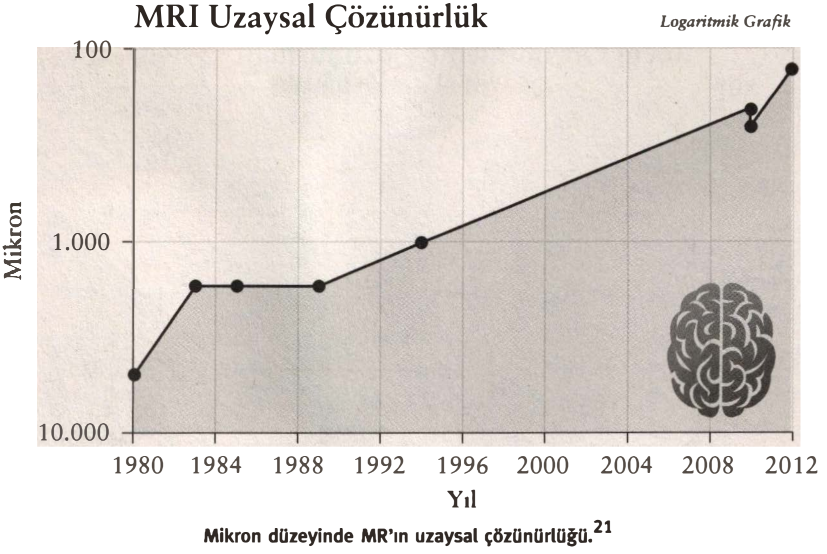
Beyin görüntüleme yöntemlerinin Venn şeması.[19]



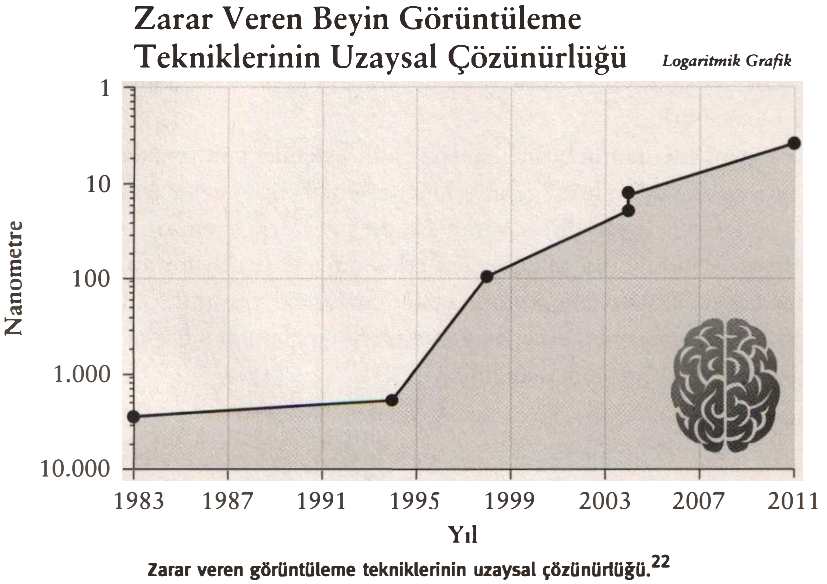
Beyin görüntüleme için kullanılan araçlar.[20]

(*) *In Vivo* (Latince: Canlının içinde); biyoloji alanında yapılan deneylerde, ölü bir organizmanın ya da canlı organizmadan alınan parçanın kullandığı araştırma tekniğidir – ç.n.

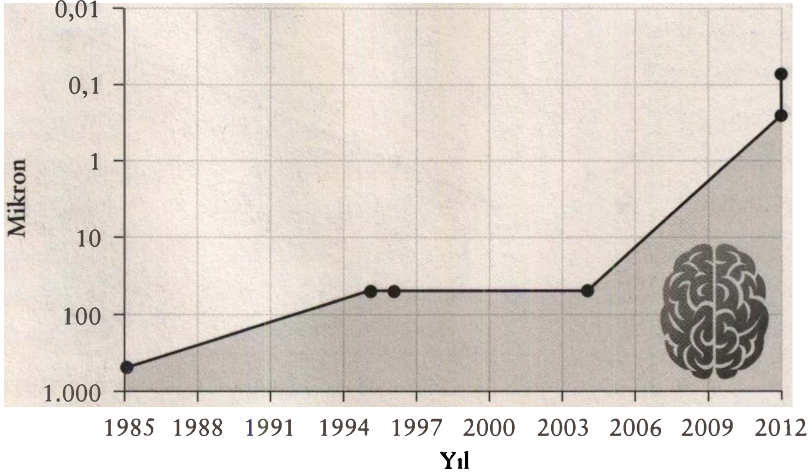
(**) *In Vitro* (Latince: Camın içinde); biyoloji alanında yapılan deneylerde, deney tüpü ya da petri kabı gibi yapay koşulların kullanıldığı araştırma tekniğidir – ç.n.



Mikron düzeyinde MR'ın uzaysal çözünürlüğü.[21]



Zarar veren görüntüleme tekniklerinin uzaysal çözünürlüğü.[22]



Hayvanlarda zararsız görüntüleme tekniklerinin uzaysal çözünürlüğü.[23]

hatlarıyla çizdiğim prensiplerle; kendini düzenleyen, kendiyle eşleşen değişmez şekillerin fazlalık ve aşağı ve/veya yukarı tahminler yapan hiyerarşik tanıyıcıları ile tutarlıdır. Bu sistemler de Watson'ın gösterdiği gibi üstel bir şekilde ölçeklenirler.

Beyni anlamanın birincil amacı akıllı sistemler yaratmak için tekniklerden oluşan alet takımımızı genişletmektir. Çoğu yapay zekâ araştırmacısı buna gereken değeri tamamen veremese de şimdiden beyin operasyonlarının prensipleri hakkındaki bilgimizden etkilenmişlerdir. Beyni anlamak ayrıca beynin çeşitli işlev bozukluklarını tersine çevirmeye yardımcı olur. Burada, elbette, beyne tersine mühendislik yöntemleri uygulamanın başka bir ana amacı vardır: kim olduğumuzu anlamak.

ON BİRİNCİ BÖLÜM

İtirazlar

Eğer bir makine insandan ayırt edilemez olduğunu ispatlarsa bir insana saygı duyacağımız gibi ona saygı duymalıyız – bir zihninin olduğunu kabul etmeliyiz.

– Stevan Harnad

İvmelenen geri dönüşler kanunu tezim ve bu kanunun insan zekâsını genişletmeye yönelik uygulamaları için en önemli itiraz, insan önsezisinin doğrusal doğasından ileri gelir. Daha önce ifade ettiğim gibi neokorteksteki birkaç yüz milyon şekil tanıyıcı bilgiyi sıralı bir şekilde işler. Bu organizasyonun olası sonuçlarından biri gelecek ile ilgili doğrusal tahminlerimizin olmasıdır dolayısıyla eleştirmenler temelde üstel olarak ilerleyen bilgi olgusuna doğrusal önsezileriyle yaklaşır.

Buna benzer şekildeki itirazlara "kuşkudan doğan eleştiriler" diyorum çünkü doğrusal tercihlerimiz göz önünde bulundurulduğunda, üstel izdüşümler olağanüstü görünür ve çeşitli biçimlere girebilirler. Microsoft kurucularından Paul Allen (1953 doğumlu) ve çalışma arkadaşı Mark Greaves yakın zamanlarda bu eleştirilerin bir kısmını *Technology Review* adlı dergide "The Singularity Isn't Near"* başlığında bir makale ile yayınladı.[1] Allen'ın belirli eleştirilerine benim buradaki cevabım, bu eleştirilerin kurduğum argümanlara, özellikle de beyinle ilgili olanlara yönelik, tipik birtakım itirazları temsil ettiğidir. Allen makalesinin başlığında *The Singularity Is Near* kitabıma referans verse de bu kitabı alıntıladığı tek kısım 2001'de yazdığım bir makaleydi ("The Law of Accelerating Returns").** Dahası, Allen'ın makalesi aslında, ki-

---

(*) Tekillik Yakın Değil – ç.n.
(**) İvmelenen Geri Dönüşler Kanunu – ç.n.

tapta kurduğum argümanları onaylamıyor ya da onlara cevap vermiyor. Ne yazık ki, çalışmama yapılan eleştirilerde durum sıklıkla bu yönde oluyor.

The Age of Spiritual Machines 1999'da yayımlandıktan sonra 2001'de yazılmış bir makale ile genişletildi, bu iş farklı düzeylerde eleştiriye yol açtı, örneğin: *Moore yasası bir son bulacak; donanım becerisi hızlı bir şekilde genişliyor olabilir fakat yazılım uyuşuk kaldı; beyin öylesine karmaşık ki, beyinde doğası gereği yazılıma kopyalanamayan beceriler var* ve birkaç eleştiri daha. *The Singularity Is Near* kitabını yazmamın sebebi bu eleştirilere cevap vermekti.

Allen'ın ve benzer eleştirmenlerin gereken şekilde kitapta kurduğum argümanlarla ikna edildiğini söyleyemem fakat en azından Allen ve diğerleri gerçekten yazdığım şeye cevap verebilirlerdi. Allen "İvmelenen Geri Dönüşler Kanunu'nun (İGDK)... fiziksel bir kanun değildir," diye tartışıyor. Çoğu bilimsel kanunun fiziksel kanunlar olmadığına işaret edebilirim fakat bunlar daha düşük seviyedeki çok sayıda olayın ortaya çıkan özelliklerinin sonucudur. Klasik bir örnek termodinamik kanunlarıdır. Eğer termodinamik kanunlarının altında yatan matematiğe bakarsanız her parçacığın rastgele yürüyüş yapar gibi modellediğini görürsünüz dolayısıyla tanım gereği belirli bir parçacığın gelecekte hangi noktada olacağını tahmin edemeyiz. Yine de, termodinamik *kanunlarına* göre, gazın genel özellikleri yüksek bir kesinlik derecesine kadar oldukça tahmin edilebilir durumdadır. O zaman bu durum ivmelenen geri dönüşler yasasıyla olur: Her teknoloji projesi ve projeye katkıda bulunan kişiler tahmin edilemez durumdadır, yine de basit fiyat/performans ölçüleri ve kapasite ile niceliği belirtilen genel yörünge dikkate değer şekilde tahmin edilebilir bir yol izler.

Eğer bilgisayar teknolojisi sadece bir avuç araştırmacı tarafından takip edilmiş olsaydı gerçekten gelişimi tahmin edilemezdi. Ancak bu, basit ölçütleri fiyat/performans olan rekabetçi projelerin, örneğin sabit dolara denk gelen saniyede yapılan hesaplamalar, yeterli derecede dinamik bir sisteminin oldukça pürüzsüz bir üstel yol izlemesinin ürünüdür ki bu önceki bölümde bahsettiğim 1890 tarihli Amerikan nüfus sayımına kadar dayanır. İGDK'nin teorik temeli geniş ölçüde *The Singularity Is Near*'da sunulmuşken bu kanun için en güçlü vak'a benim ve diğerlerinin sunduğu geniş çapta gözleme dayalı kanıtlar tarafından gösterildi.

Allen "bu 'kurallar' çalışmayana kadar çalışır" yazıyor. Burada Allen örnekleri basit bilgi teknolojileri alanının süregelen yörüngesiyle karıştırıyor. Örneğin, eğer en küçük vakum tüplerini yaratma eğilimini inceliyor olsaydık

–1950'lerde bilgisayımı geliştirme örneği– devam etmeyene kadar devam edeceği doğru olurdu. Ancak, bu belirli örneğin sonu daha açık hâle geldikçe gelecek örnek için araştırma baskısı büyüdü. Transistör teknolojisi bilgisayımın üstel fiyat/performans büyümesinin altında yatan eğilimin devam etmesini sağladı ve bu da beşinci örneğe (Moore yasası) yol gösterdi ve tümleşik devrelerdeki özelliklerin sıkıştırılmasını sağladı. Moore yasasının sona ereceğine dair düzenli tahminler oldu. Yarı iletken endüstrisinin "Yarı İletkenler için Uluslararası Teknoloji Yol Haritası" 2020'lerin başlarına kadar yedi nanometre özelliklerini öngörüyor.[2] Bu noktada önemli özellikler otuz beş karbon atomunun genişliğinde olacak ve onları daha fazla sıkıştırmaya devam etmek zor olacak. Bununla birlikte, Intel ve çip yapan diğer firmalar şimdiden fiyat/performans oranında üstel gelişmeye devam etmek için altıncı örneğe, üç boyutta bilgisayıma, doğru ilk adımlarını atıyorlar. Intel üç boyutlu çiplerin gençlik zamanlarında ana akım olacağını öngörüyor; üç boyutlu transistörler ve 3-B bellek çipleri şimdiden tanıtıldı. Altıncı paradigma İGDK'nin, bilgisayar fiyat/performans oranına göre bu yüzyılda daha sonraki bir zamana kadar, bin dolar değerindeki bilgisayım insan beyninden trilyonlarca kez daha güçlü olana dek devam etmesini sağlayacak.[3] (Allen ve ben en azından insan beyninin işlevsel bir şekilde simüle edilmesi için ne seviyede bilgisayımın gerekli olduğu konusunda anlaşıyor gibi görünüyoruz.)[4]

Sonra, Allen yazılımın donanım kadar hızlı bir şekilde gelişmediği standart argümanını sunmakla devam ediyor. *The Singularity Is Near*'da bu meseleye benzer hızda büyüme gösteren yazılımdaki karmaşıklığı ve beceriyi ölçme yöntemlerini alıntılayarak uzunca değindim.[5] Yakın zamanlarda yapılmış bir çalışma (ABD Başkanı'nın Bilim ve Teknoloji Danışmanları Kurulu tarafından, "Report to the President and Congress, Designing a Digital Future: Federally Funded Research and Development in Networking and Information Technology"*) şunu ifade ediyor:

> Daha dikkat çekici olan –ve daha az anlaşılmış– şeyler *performansın algoritmalardaki gelişmelere bağlı olarak, artırılan işlemci hızı sayesinde etkileyici bir performans elde edilmesini bile daha çok aşıyor.* Bugün konuşma tanıma için, doğal dil tercümesi için, satranç oynama için, lojistik planlama için kullandığımız algoritmalar son on yılda önemli biçimde evrimleşti... Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin'den Profesör Martin Grötschel tarafından sağlanan bir örnek verelim. Grötschel bir optimi-

(*) Başkana ve Meclise Rapor, Dijital Bir Gelecek Tasarlamak: Ağ oluşturma ve Bilgi Teknolojileri üzerine Federal Hükümet Tarafından Ödenek Sağlanan Araştırma ve Geliştirme – ç.n.

> zasyon uzmanı olarak karşılaştırmalı değerlendirme üretim planlama modelini doğrusal programlama kullanarak 1988'de o zamanın bilgisayarlarını ve doğrusal programlama algoritmalarını kullanarak çözmenin 82 yıl alacağını gözlemliyor. On beş yıl sonra –2003'te– aynı model yaklaşık olarak 1 dakikada çözülebiliyordu, neredeyse 43 milyon katlık bir gelişme. Bu oranın neredeyse 1.000 kadarı artırılan işlemci hızına bağlıyken 43.000 kadarı algoritmalardaki gelişmelere bağlıydı! Grötschel ayrıca yaklaşık 30.000 algoritmik gelişmede 1991 ile 2008 arasındaki karışık tamsayı izlenceleme gelişmesi alıntılıyor. Algoritmaların tasarım ve analizi ve problemlerin yapısı gereği bilgisayımsal karmaşıklığı bilgisayar biliminin temel alt başlıklarıdır.

Grötschel'in yukarıda alıntıladığı doğrusal programlamanın performansta 43 milyona 1 oranında bir gelişmeden yararlandığını ve bunun, daha önce bahsettiğim Hiyerarşik Gizli Markov Modeli gibi bir hiyerarşik bellek sistemine en uygun biçimde kaynak atamak için kullanılan matematiksel bir teknik olduğunu not ediniz. *The Singularity Is Near*'da buna benzer birçok başka örnek alıntıladım.[6]

Yapay zekâya yönelik olarak IBM'in Watson'ını reddederken Allen biraz aceleci davranıyor ki bu birçok başka eleştirmenin de paylaştığı bir görüş. Watson'ı küçük gören bu kişilerin çoğu Watson hakkında bir bilgisayar (her ne kadar 720 işlemci çekirdeğiyle paralel bir bilgisayar) üzerinde çalışan yazılım olduğu gerçeğinin dışında hiçbir şey bilmiyor. Allen Watson gibi sistemlerin "kırılgan kaldığını, performans sınırlarının iç varsayımları ve tanımlayıcı algoritmaları tarafından kesin bir şekilde ayarlandığını, genelleme yapamadıklarını ve sıklıkla belirli alanlarının dışına çıkıldığında mantıksız cevaplar verdiklerini" yazıyor.

Öncelikle, benzer bir gözlemi insanlar için de yapabiliriz. Watson'ın "belirli alanlarının" tüm Vikipedi ile diğer birçok bilgi tabanını içeriyor ki bunlar dar bir odağı oluşturmuyor. Watson geniş çaplı bir insan bilgisiyle başa çıkar ve güç algılanan dil biçimlerini sözcük oyunları, mecaz ve eğretileme dahil neredeyse insan girişiminin her alanıyla başa çıkabilir. Bu mükemmel değil fakat insanlar da mükemmel değil ve Watson *Jeopardy!* oyununda en iyi insan oyuncular arasından galip gelecek kadar iyiydi.

Allen Watson'ın bilim insanları tarafından bir araya getirildiğini ve bu şekilde belirli alanlardaki dar bilgi için köprüler oluşturulduğunu söylüyor. Bu doğru değil. Watson'ın birkaç alandaki verisi direkt olarak programlanmış olsa da Watson bilgisinin önemli bir kısmını kendi kendine Vikipedi gibi doğal dil belgelerini okuyarak elde etti. Bu Watson'ın temel gücünü ve *Jeo-*

pardy! sorgularındaki (sorusunu arayan cevaplar) dolambaçlı dili anlama becerisini temsil eder.

Daha önce bahsettiğim gibi, Watson'a gelen eleştirilerin çoğu Watson'ın "doğru" anlayış yerine istatistiki olasılıklar üzerinden çalışmasını konu alıyor. Çoğu okuyucu bunu Watson'ın yalnızca sözcük dizileri üzerine istatistik toplaması olarak yorumlayabilir. "İstatistiki bilgi" terimi Watson'ın durumunda aslında hiyerarşik gizli Markov modeli gibi kendini düzenleyen yöntemlerde dağılan faktörler ve sembolik bağlantıları ima eder. İnsan korteksinde dağılan nörotransmiter yoğunluğu ve fazlalık yaratan bağlantı şekilleri kolaylıkla "istatistiksel bilgi" diyerek gözden çıkarılabilir. Aslında anlam belirsizliklerini Watson ile aynı şekilde çözeriz – bir sözcük grubunun farklı yorumlarının olanaklılığını düşünürüz.

Allen "[Beyindeki] her yapı, ne olursa olsun, belirli bir şey yapmak için kesin bir şekilde milyonlarca yıllık evrim sayesinde şekillenir. Bilgisayar gibi tipik bir bellek dizesinde milyarlarca eş transistörün farklı unsurlardan oluşan bir merkezi işlemci tarafından kontrol edilmez. Beyinde her bireysel yapı ve sinirsel devre evrim ve çevresel faktörler tarafından rötuşlanmıştır," diyerek devam ediyor.

Beyindeki her yapının ve sinirsel devrenin benzersiz ve tasarım sebebiyle basitçe imkânsız olduğuna dair bu görüş beynin taslağının yüzlerce trilyonlarca bilgiye sahip olmasını gerektirirdi. Beynin yapısal planı (vücudun kalan bölgelerinin de olduğu gibi) genomun kapsamındadır ve beyin tek başına genomdan daha fazla tasarım bilgisine sahip olamaz. Epigenetik bilginin (örneğin gen açıklanmasını kontrol eden peptidler) takdire değer bir şekilde genomda bulunan bilgiye eklenmez. Deneyim ve öğrenme beyinde saklanan bilgi miktarına önemli derecede eklenir fakat aynısı Watson gibi yapay zekâ sistemleri için de söylenebilir. *The Singularity Is Near*'da kayıpsız sıkıştırma sonrasında (genomdaki yüksek boyutlardaki fazlalığa bağlı olarak) genomdaki tasarım bilgisinin yaklaşık 50 milyon bayt olduğunu ve aşağı yukarı yarısının (yani 25 milyon baytının) beyne ait olduğunu gösteriyorum.[7] Bu basit değil ancak bu başa çıkabileceğimiz bir seviye ve modern dünyadaki çoğu yazılım sisteminin sahip olduğundan daha az karmaşayı temsil ediyor. Ayrıca, beynin 25 milyon baytlık genetik tasarım bilgisinin çoğu nöronların bilgi işleme algoritmalarına değil, biyolojik gerekliliklerine aittir.

Beyinde, onlarca milyon baytlık tasarım bilgisinden 100 ila 1.000 trilyon bağlantı seviyesine nasıl ulaşıyoruz? Açıkçası, cevap büyük fazlalık değerlerinde yatıyor. IBM Research'te Bilişsel Bilgisayım müdürü Dharmendra

Modha "nöroanatomistler umutsuzca karmakarışık olmuş, rastgele bağlanmış ağlar, her bireyin tamamen kendi beynine özgü bir yapı yerine, bireyin beyninde çok sayıda tekrar eden yapı ve türler arasında yüksek oranda benzeşiklik buldu... Hayret verici doğal yeniden ayarlanabilirlik özelliği nörobilgisayımın çekirdeğindeki algoritmaların belirli duyusal ve motor yaklaşımlardan bağımsız olduğu umudunu veriyor ve kortikal yapıdaki alanların bir ucundan diğer ucuna kadar gözlemlenen bu çeşitlilik temel bir devrenin gelişimini temsil ediyor, ki tersine mühendislik uygulamak istediğimiz devre de bu temel devredir", yazıyor.[8]

Allen doğası gereği "karmaşıklık freninin aslında insan beynini anlama ve onun becerilerini kopyalama alanındaki gelişimi sınırladığını" onaylarken bu düşüncesini insan beynindeki yaklaşık 100 ila 1.000 trilyon bağlantının her birinin belirgin tasarım sayesinde orada bulunduğu kavramına temellendiriyor. Allen'ın "karmaşıklık freni" ormanla ağaçları birbirine karıştırıyor. Bir pankreası anlamak, modellemek, simüle etmek ve yeniden yaratmak isterseniz her pankreastaki adacık hücrelerinin içindeki her organeli yeniden yaratmanız ya da simüle etmeniz gerekmez. Bunun yerine bir adacık hücresini anlamak sonra insülin kontrolündeki temel işlevlerini soyutlamak ve sonra bunu daha geniş bir grup hücreye yaymak istersiniz. Bu algoritma adacık hücreleri ile ilgili olarak iyi anlaşıldı. Artık bu işlevsel modeli kullanan test edilmiş yapay pankreaslar var. Beyinde, büyük ölçüde tekrar eden pankreastaki adacık hücrelerine göre çok daha fazla karışıklık olsa da bu kitapta tekrar tekrar bahsettiğim gibi çok fazla işlev tekrarı var.

Allen'ın açıkça belirttikleriyle aynı doğrultuda olan eleştiriler benim "biliminsanının karamsarlığı" dediğim şeylerdir. Teknolojinin gelecek nesilleri ya da bilimsel alan modellemesinin gelecek nesilleri üzerine çalışan araştırmacılar sürekli olarak şimdiki bir dizi zorlukla mücadele ediyor, dolayısıyla bir kişi on nesil içinde teknolojinin neye benzeyeceğini tarif ederse bu kişilerin gözleri kararacak. Tümleşik devre öncülerinden biri yakın zamanlarda bana hatırlatmak için otuz yıl boyunca 10 mikron (10.000 nanometre) özellik boyutundan 5 mikron (5.000 nanometre) özellik boyutuna giderken yaşadığı mücadeleyi aktarıyordu. Biliminsanları bu hedefe ulaşırken dikkatli bir şekilde kendilerine güveniyordu fakat insanlar bir gün 1 mikronun (1.000 nanometre) altında özellik boyutlarına sahip devre sistemlerine ulaşacağımızı gerçekten tahmin ettiğinde, çoğu, kendi hedeflerine odaklandı ve bunun, üzerinde kafa yormak için bile çok çılgınca olduğunu düşündüler. Bu kesinlik seviyesindeki devre sistemlerinin çok kırılgan olacağına, termal etkilerine ve da-

ha birçok şeye dair itirazlar edildi. Bugün Intel kapı uzunluğu 22 nanometre olan çipler kullanmaya başlıyor.

Aynı türdeki bir karamsarlığın İnsan Genom Projesi'ne karşı var olduğuna da tanık olduk. On beş yıllık bir çabanın yarısına doğru genomun sadece % 1'i toplandı ve eleştirmenler nazik genetik yapıların zarar görmeden en hızlı şekilde nasıl sekanslanacağı üzerine basit sınırlar öneriyordu. Ancak hem kapasite hem de fiyat/performansın üstel büyümesi sayesinde proje yedi yıl sonra bitirildi. İnsan beynine tersine mühendis yöntemleri uygulama projesi de benzer bir gelişim izliyor. Son dönemlerde, örneğin, bireysel nöronlar arası bağlantıları oluşurken ve ateşlerken gerçek zamanlı görebildiğimiz saldırgan olmayan tarama teknikleriyle bir eşiğe ulaştık. Bu kitapta sunduğum kanıtların bir kısmı böyle gelişmelere bağlı ve yalnızca çok kısa bir zamandır ulaşılabilir durumdadır.

Allen insan beynini ters mühendislik yöntemiyle ilgili önerimi basitçe beynin ince yapılarını anlamak için beyni taramak ve sonra bilgi işleme yöntemlerini anlamadan tüm beyni "aşağıdan yukarıya" simüle etmek olarak tarif ediyor. Benim önerim bu değil. Özgün nöron türlerinin nasıl çalıştığını detaylı bir şekilde anlamamız ve sonra işlevsel modüllerin nasıl bağlandığıyla ilgili bilgi toplamamız gerek. Bu tür bir analizden çıkarılan işlevsel yöntemler daha sonra akıllı sistemlerin gelişimine yol gösterebilir. Temel olarak, yapay zekâ alanındaki çalışmaları hızlandıracak biyolojiden ilham almış yöntemler arıyoruz ki bunların çoğu beynin benzer işlevleri nasıl yaptığına dair önemli bir içgörüye sahip olmadan gelişti. Konuşma tanımadaki kendi çalışmam sayesinde, beynin işitsel bilgiyi nasıl hazırladığı ve biçimini nasıl değiştirdiğine dair içgörü kazandığımızda çalışmamızın adamakıllı hızlandığını biliyorum.

Beyindeki büyük ölçekte fazla olan yapıların farklılaşması öğrenme ve deneyim yoluyla oluyor. Yapay zekâdaki son teknoloji aslında sistemlerin kendi deneyimlerinden öğrenmesini de sağlıyor. Google'ın sürücüsüz araçları insan sürücüler tarafından kullanılan Google araç verileri kadar kendi sürüş deneyimlerinden de öğreniyorlar; Watson bilgisinin çoğunu kendi kendine okuyarak öğrendi. Bugün, yapay zekâda uygulanan yöntemlerin matematiksel olarak neokorteksteki mekanizmalara çok benzer şekilde evrimleştiğini kaydetmek şaşırtıcıdır.

"Güçlü yapay zekânın" (insan seviyesinde ve bunun ötesindeki yapay zekâ) uygulanabilirliğine bir diğer itiraz da, dijital yöntemler analog temsillerin bünyesinde bulundurabileceği değer geçişlerini doğal olarak kopyalayamazken insan beyninin analog bilgisayımı yaygın bir şekilde kullanmasına

yöneliktir. Bir bitin ya açık ya kapalı olduğu doğru ancak birden çok bitlik sözcükler kolayca birçok geçişi temsil eder ve bunu istenilen herhangi bir kesinlik oranı için yapabilir. Bu tabii ki, dijital bilgisayarlarda her zaman yapılan şeydir. Olduğu hâliyle, beyindeki analog bilginin (örneğin, sinaptik güç) kesinliği sekiz bitle gösterilebilecek 256 seviyeden sadece biri kadardır.

Dokuzuncu Bölüm'de Roger Penrose ile Stuart Hameroff'un itirazından bahsettim ki bu mikrotübüller ve kuantum bilgisayımıyla alakalıydı. Nöronlardaki mikrotübül yapılarının kuantum bilgisayımı yaptığını iddia ettiklerini hatırlayın, bunu bilgisayarlarda başarmak mümkün olmadığından insan beyni temel olarak farklı ve büyük ihtimalle daha iyi. Daha önce iddia ettiğim gibi nöronlardaki mikrotübüllerin kuantum bilgisayımı gerçekleştirdiğine dair bir kanıt yok. İnsanlar aslında kuantum bilgisayarının üzerinde uzmanlaşabileceği (örneğin yüksek sayıları çarpanlarına ayırma) türdeki problemleri çözmede oldukça başarısızlar. Bunların herhangi birinin doğru olduğu kanıtlanırsa kuantum bilgisayımının bizim bilgisayarlarımızda da kullanılmasını engelleyecek hiçbir şey olmazdı.

John Searle kendisinin "Çin odası" dediği düşünme deneyiyle ünlüdür. Bu argümanı *The Singularity Is Near*'da detaylı bir şekilde inceliyorum.[9] Kısacası deney bir insanın Çince yazılmış soruları cevaplamasından bahsediyor. Bunu yapmak için en ince detayları kapsayan bir kural kitabı kullanıyor. Searle deneydeki kişinin Çinceye dair doğal bir anlayışının olmadığını ve bu kişinin görünürde Çince soruları cevaplama becerisi olsa da, dilin "bilincinde" olmadığını (soruları ya da cevapları anlamadığından) iddia ediyor. Searle bunu bir bilgisayarla kıyaslıyor ve bir bilgisayarın Çince soruları cevaplayabilmesinin (temelde Çince Turing testini geçmesi) Çin odasındaki insana benzer şekilde gerçek bir dil anlayışının ve yaptığı şeye dair bir bilinçliliğinin olmadığı sonucuna varıyor.

Searle'ün argümanında birkaç felsefi el ustalığı bulunuyor. Öncelikle, bu düşünme deneyindeki adam bir bilgisayarın sadece merkezi işlemci birimiyle kıyaslanabilir. Merkezi işlemci biriminin yaptığı şeye dair doğru bir anlayışa sahip olmadığı söylenebilir fakat bu birim yapının tek bir parçasıdır. Searle'ün Çin odasında tüm sistemi oluşturan şey adam *ile* kural kitabıdır. Bu sistem Çinceyi anlama kapasitesine sahip; aksi takdirde sorulara ikna edici bir şekilde Çince cevap veremezdi ki bu da Searle'ün bu düşünme deneyi için var olan varsayımını ihlal ederdi.

Searle'ün argümanının çekiciliği bugün bir bilgisayar programında doğru anlama ve bilinç bulamadığımız gerçeğinden kaynaklanıyor. Bununla

birlikte, bu önermeyle ilgili sorun insan beynine kendi seviyesinde bir muhakeme uygulayabilirsiniz. Her neokortikal şekil tanıyıcı –aslında her nöron ve her nöronsal bileşen– bir algoritmayı takip ediyor. (Sonuçta, doğal kuralları izleyen bu moleküler mekanizmalardır.) Eğer bir algoritma izlemenin doğru anlama ve bilinçle tutarsız olduğu sonucuna varırsak, ayrıca insan beyninin de bu özellikleri sergilemediği sonucuna varmamız gerekir. John Searle'ün Çin odası argümanını alıp basit bir şekilde "sembollerle oynamak" sözcükleri yerine "nöronlararası bağlantılar ve sinaptik güçlerle oynamak" sözcüklerini koyduğunuzda insan beyninin doğru bir şekilde hiçbir şeyi anlamadığına dair ikna edici bir argüman elde etmiş olursunuz.

Bir başka argüman da doğanın doğasından geliyor ki bu çoğu gözlemci için yeni kutsal alan hâline geldi. Örneğin, Yeni Zelandalı biyolog Michael Denton (1943 doğumlu) makinelerin tasarım ilkeleriyle biyolojininkiler arasında temel bir farklılık görüyor. Denton doğal varlıkların "kendini düzenleyen... kendine referans veren... kendini kopyalayan... çaprazlama... kendini şekillendiren ve... bütünsel" olduğunu yazıyor.[10] Buna benzer biyolojik biçimlerin sadece biyolojik işlemler sayesinde yaratılabileceğini ve dolayısıyla bu biçimlerin "değişmez... akıl ermez ve... temel" varoluş gerçekleri olduğunu dolayısıyla temel olarak makinelerden farklı bir felsefi sınıfta bulunduklarını iddia ediyor.

Gerçeklik, gördüğümüz gibi, makinelerin aynı ilkeleri kullanarak tasarlanabileceğiydi. Doğanın en zeki varlığının –insan beyni– belirli tasarım örneklerini öğrenmek tam olarak beyne ters mühendislik yöntemleri uygulama projesinin amacıdır. Denton'ın söylediği gibi biyolojik sistemlerin tamamen "bütünsel" olduğu da doğru değildir ancak diğer taraftan makineler de tamamen birimsel olmak zorunda değildir. Doğal sistemlerdeki özellikle de beyindeki işlevsellik birimlerinin hiyerarşisini açık bir şekilde tarif ettik ve yapay zekâ sistemleri hâlâ kıyaslanabilir yöntemleri kullanıyor.

Bana öyle geliyor ki çoğu eleştirmen bilgisayarlar rutin bir şekilde Turing testini geçmeden tatmin olmayacaklar ancak bu eşik bile kesin hatlı olmayacak. Şüphesiz uygulandığı iddia edilen Turing testlerinin geçerli olup olmadığıyla ilgili anlaşmazlık olacak. Aslında, muhtemelen ben de bu tarz kötüleyici erken eleştirmenler arasında yerimi alacağım. Turing testini geçen bilgisayarların geçerliliği üzerine yapılan tartışmalar durulana kadar bilgisayarlar kontrastsız insan zekâsını çoktan aşmış olacak.

Burada "kontrastsız" sözcüğü üzerinde duruyorum çünkü kontrastsızlık tam olarak Hans Moravec'in deyişiyle bu "zihin çocuklarını" yaratmamı-

zın sebebidir.[11] İnsan seviyesindeki şekil tanıyıcıları bilgisayarların doğal hızı ve kesinliğiyle birleştirmek çok güçlü beceriler ortaya çıkaracak. Ancak bu Mars'tan gelen akıllı makinelerin uzaylı saldırısı değil – bu araçları kendimizi daha akıllı hâle getirmek için yaratıyoruz. İnanıyorum ki çoğu gözlemci insan türüyle ilgili eşsiz olan şeyin ne olduğu konusunda bana katılacaktır: Ulaşabildiğimiz sınırları genişletmek için bu araçları oluşturuyoruz.

Sonsöz

Resim oldukça kötü genç adam... Dünyanın iklimi değişiyor, memeliler yönetimi devralıyor ve hepimizin sadece bir ceviz büyüklüğünde beyinleri var.

– Gary Larson'ın *The Far Side* adlı kitabında dinozorların konuşması

Zekâ, sınırlı kaynaklarla sorun çözme becerisi olarak tanımlanabilir ki buradaki en önemli kaynak zamandır. Dolayısıyla yemek bulmak ya da bir avcıdan kaçmak gibi bir sorun daha güçlü bir zekâyı yansıtır. Zekâ hayatta kalma mücadelesi için faydalı olduğundan evrimleşti – bu belirgin bir gerçek gibi görünebilir fakat herkesin katıldığı bir gerçek değildir. Kendi türümüz tarafından uygulandığı gibi bu beceri sadece gezegenimize hâkim olmamızı değil hayatımızın kalitesini sabit bir şekilde artırmamızı da sağladı. Bu ikinci nokta da, herkes için çok belirgin değildir zira bugün yaşamın sadece kötüye gittiğine dair yaygın bir algı var. Örneğin 4 Mayıs 2011'de yapılan bir kamuoyu anketi "Amerikalıların sadece % 44'ü bugünün gençliğinin ebeveynlerinden daha iyi bir hayat süreceğine inanıyor" olduğunu ortaya çıkardı.[1]

Eğer yaygın eğilimlere bakarsak, sadece beklenen insan ömrünün son bin yılda dört katına çıktığını (ve son iki yüz yılda en az ikiye katlandığını)[2] fakat kişi başına düşen gayri safi yurt içi hasıla (bugünkü sabit dolar bazında), 1800'deki yüzlerce dolardan gelişmiş dünyada vurgulanan eğilimlerle birlikte bugün binlerce dolara çıktı.[3] Bir yüzyıl önce yalnızca bir avuç demokrasi varken bugün demokrasi norm hâline geldi. Ne kadar ilerlediğimiz üzerine tarihi bir bakış açısı için insanlara Thomas Hobbes'un "insan hayatını", "yalnız, zavallı, kötü, yabani ve kısa" olarak anlattığı *Leviathan* (1651) ese-

rini okumalarını öneririm. Daha modern bir bakış açısı için son zamanlarda çıkan, X-Prize Vakfı kurucusu (ve benimle birlikte Singularity Üniversitesi'nin kurucularından) Peter Diamandis ile bilim yazarı Steven Kotler'in yazdığı *Bolluk* (2012) bugünkü hayatın her boyutta sabit bir şekilde büyüdüğü sıradışı yolları belgeliyorlar. Steven Pinker'ın yakın zamanlarda çıkan *The Better Angels of Our Nature: Why Violence Has Declined* (2011) kitabı titizlikle insanlar arasındaki barışçıl ilişkilerin sabit yükselişini belgeliyor. Amerikalı avukat, girişimci ve yazar Marine Rothblatt (1954 doğumlu) sivil haklardaki istikrarlı gelişmeleri belgeliyor, örneğin birkaç on yıl içerisinde eşcinsel evlilik dünyada hiçbir yerde yasal görülmezken hızlıca artan sayıda yargı yetkisiyle yasal olarak kabul ediliyor.[4]

İnsanların yaşamın kötüye gittiğine inanmasının birincil sebebi dünyanın sorunlarıyla ilgili bilgimizin istikrarlı bir şekilde artmasına bağlı. Eğer bugün gezegen üzerinde bir yerde bir savaş olsaydı neredeyse oradaymışız gibi bu savaşı deneyimlerdik. İkinci Dünya Savaşı boyunca on binlerce insan savaşta can vermiş olabilir ve halk tüm bunları görmüş olsaydı birkaç hafta sonra pürüzlü görünen bir haber filmi hâline gelirdi. Birinci Dünya Savaşı boyunca küçük elit bir çevre anlaşmazlıkların gelişimini gazeteden (resimsiz) okuyabiliyordu. 19. yüzyıl boyunca neredeyse hiç kimse haberlere zamanında erişemiyordu.

Zekâmıza bağlı olarak kaydettiğimiz gelişme bilgimizin evrimine yansıdı ki bu da teknolojimizi ve kültürümüzü içeriyor. Çeşitli teknolojilerimiz artarak bilgi teknolojileri hâline geliyor ki bilgi teknolojileri de üstel bir şekilde gelişmeye devam ediyor. Böyle teknolojiler sayesinde insanlığın büyük zorlu görevlerini belirleyebiliyoruz, örneğin sağlıklı bir çevre oluşturmak, büyüyen bir popülasyon için (enerji, yemek ve su dahil) kaynaklar sağlamak, insan ömrünü artırmak ve sefaleti gidermek. Kendimizi geliştirmenin tek yolu bu zorlukların üzerine eğilmek için gerekli olan karmaşıklık ölçüsüyle baş edebilecek akıllı teknolojilerdir.

Bu teknolojiler bizimle yarışacak ve eninde sonunda bizi yerimizden edecek akıllı istilanın öncü kuvvetleri değildir. Daha yüksek bir dala ulaşmak için bir çubuk kullanmaya başladığımızdan beri ulaşabildiğimiz yerleri genişletmek için hem fiziksel hem zihinsel olarak kendi araçlarımızı kullandık. Bugün cebimizden bir araç çıkarıp birkaç tuşa basarak insan bilgisinin çoğuna ulaşmak bizleri sadece birkaç on yıl önce hayal etmesi mümkün olmayan yerlerin ötesine taşır. Cebimdeki "cep telefonu" (bu terim tırnak içine alındı çünkü geniş ölçüde bir telefondan daha fazlası) ben MIT'de lisans okurken oradaki profesörlerin ve öğrencilerin paylaştığı bilgisayarlardan milyonlarca kez

daha ucuz olsa da çok daha güçlüdür. Kırk yıl içerisinde bir binanın içine sığabilecek şeyin şu anda cebinize sığması ve daha sonra bir kan hücresi içine sığacak olması, fiyat/performans oranında birkaç milyar katlık bir artıştır ve gelecek yirmi beş yıl içerisinde tekrar göreceğimiz bir yükselmedir.

Bu şekilde yarattığımız akıllı teknolojiyle birleşeceğiz. Kan dolaşımımızdaki akıllı nanobotlar biyolojik vücutlarımızın hücresel ve moleküler düzeyde sağlığını koruyacak. Saldırgan olmayan bir şekilde kılcal damarlarımızdan beyinlerimize girecekler ve biyolojik nöronlarımızla etkileşerek direkt olarak zekâmızı artıracaklar. Bu, göründüğü kadar fütürist değil. Şimdiden hayvanlarda tip I diyabeti önleyen ya da kan dolaşımındaki kanser hücrelerini saptayıp yok eden kan hücresi boyutlarında araçlar var. İvmelenen geri dönüşler kanununa göre bu teknolojiler otuz yıl içinde bugün olduklarından milyar kat daha güçlü olacaklar.

Şimdiden kullandığım cihazları ve bilgisayım kaynakları bulutunu –ki buna kendi uzantım gibi sanal olarak bağlıyım– düşünüyorum ve bu beyin katkı maddelerine erişimim kesildiğinde kendimi eksik hissediyorum. Bu sebeple SOPA (Stop Online Piracy Act*) Google, Vikipedi ve başka binlerce internet sitesi 18 Ocak 2012'de bir günlük grev yapmasının bu kadar dikkate değer olmasının sebebidir: Beynimin bir parçası grev yapıyor gibi hissettim (bu çevrimiçi kaynakları kullanmanın başka yollarını bulsak da). Bu ayrıca, yasa anında ortadan kaldırılırken –ki başta onaylanmaya gidiyor gibi görünüyordu– bu sitelerin politik gücünün etkileyici bir gösterimiydi. Daha önemlisi, düşünme parçalarımızı baştan aşağı bilgisayım bulutuna nasıl atadığımızı gösterdi. Bu siteler şimdiden kimliğimizin bir parçası. Beynimizde akıllı biyolojik olmayan zekâlara rutin bir şekilde sahip olduğumuzda, bu büyüme –ve bağlı olduğu bulut– beceride üstel bir şekilde büyümeye devam edecek.

Beyni ters mühendislik yöntemleriyle işledikten sonra yaratacağımız zekâ kendi kaynak koduna sahip olacak ve hızlıca kendini ivmelenen ve tekrar eden bir döngüde geliştirecek. Biyolojik insan beyninde, gördüğümüz gibi, hatırı sayılır derecede plastisite olsa da görece sabit bir mimarisi var ki bu sınırlı kapasitede olduğu gibi önemli bir şekilde değiştirilemez. Beyindeki 300 milyon şekil tanıyıcıyı biyolojik olmayan bir yöntem kullanmadıkça örneğin 400 milyona çıkaramayız. Bunu başardığımız zaman, belirli bir beceri seviyesinde durmamız için bir sebep kalmayacak. Bu sayıyı bir milyar şekil tanıyıcıya ya da bir trilyona çıkarabiliriz.

(*) Çevrimiçi Korsanlığı Durdur – ç.n.

Sayısal gelişmeden niteliksel gelişme doğar. *Homo Sapiens*'in en önemli evrimsel ilerlemesi niceliksel idi: daha fazla neokorteks ağırlayabilmek için daha geniş bir alın. Daha fazla neokortikal kapasite bu yeni türün daha yüksek kavramsal seviyelerde düşünce yaratma ve düşünüp taşınmasını sağladı, bu şekilde çeşitli sanat ve bilim dallarının kurulmasına yol açtı. Biyolojik olmayan bir kalıba daha fazla neokorteks eklersek daha fazla niceliksel soyutlama seviyesi bekleyebiliriz.

Alan Turing'in çalışma arkadaşı olan İngiliz matematikçi Irvin J. Good 1965'te "ilk çok zeki makine insanın yaratma ihtiyacının olduğu son şeydir" diye yazdı. Böyle bir makineyi, Good "her ne kadar akıllı olsa da herhangi bir insanın düşünsel faaliyetlerini" aşabilecek şey olarak tanımladı ve "makine tasarımı bu düşünsel faaliyetlerden biriyken çok zeki bir makinenin çok daha iyi makineler tasarlayabileceği" sonucuna vardı; dolayısıyla burada tartışmasız bir "zekâ patlaması" olurdu.

Biyolojik evrimin yapması gereken son icat –neokorteks– kaçınılmaz şekilde insanlığın yapması gereken son icada –gerçekten zeki makineler– yol açıyor ve bunlardan birinin tasarımı bir diğerine ilham veriyor. Biyolojik evrim devam ediyor fakat teknolojik evrim ondan milyonlarca kez daha hızlı ilerliyor. İvmelenen geri dönüşler kanununa göre bu yüzyılın sonunda mümkün olan sınırlarda, fizik kurallarının temel alındığı ve bilgisayıma uygulandığı bir bilgisayım yaratabileceğiz.[5] Bu şekilde düzenlenmiş olan madde ve enerjiye "kompütronyum"* adını vereceğiz ki bu, gramı gramına insan beyninden çok daha güçlü olacak. Sadece çiğ bir bilgisayım olmayacak fakat tüm insan-makine bilgisini oluşturan zeki algoritmalarla doldurulmuş olacak. Zamanla kütle ve enerjinin çoğunu galaksinin bu amaç için uygun olan ufacık bir köşesinde kompütronyuma dönüştüreceğiz. Sonra, ivmelenen geri dönüşler kanununun devam etmesi için bu maddeyi galaksi ve evrenin geri kalanına yaymamız gerekecek.

Eğer ışık hızı değiştirilemez bir limitse, Dünya'ya en yakın yıldız sisteminin dört ışık yılı uzakta olduğu düşünüldüğünde, evreni kolonileştirmek uzun zaman alacak. Eğer bu limitten kurtulmanın güç algılanan bir yolu varsa bile, zekâmız ve teknolojimiz bundan faydalanmak için yeterli derecede güçlü olacak. Bu, müonların İsviçre Fransa sınırındaki CERN hızlandırıcısından Orta İtalya'daki Gran Sasso Laboratuvarı'na 730 kilometre yol katettiği önerisinin neden ışık hızından daha hızlı hareket ettiğinin sebebi olması, po-

(*) Orj. computronium: Norman Margolus ve Tomaso Toffoli tarafından öne sürülmüş programlanabilir madde – ç.n.

tansiyel olarak önemli bir haber. Bu özel gözlem yanlış alarm gibi görünüyor fakat bu limitin etrafında olan başka olasılıklar da var. Görünürde çok uzak olan yerlere alışık olduğumuz üç boyutun dışında mekânsal boyutlarla kestirme yollar bulursak ışık hızını aşmamız gerekmez bile. Işık hızını aşabilmemiz ya da bir sınır olan bu hıza yaklaşmamız insan-makine medeniyeti için 22. yüzyılın başında önemli bir stratejik mesele olacak.

Kozmologlar dünyanın sonunun ateşle mi (büyük patlamayla eşleşen büyük bir çatırtı) ya da buzla mı (yıldızlar sonsuz bir genişlemeyle yayılırken ölmeleri) geleceğini tartışıyor ancak sanki zekânın ortaya çıkması sadece bugün evrene hükmeden büyük göksel makineler için sadece eğlendirici bir gösteriymişçesine zekânın gücünü hesaba katmıyorlar. Zekâmızı biyolojik olmayan bir formda tüm evrene yaymamız ne kadar sürecek? Işık hızının ötesine geçebilirsek –kuşkusuz bu büyük bir varsayım– örneğin, uzay boyunca solucan delikleri kullanarak (ki bunlar bugünkü fizik anlayışımızla tutarlı) bunu birkaç yüzyıl içinde başarabiliriz. Diğer türlü, çok daha uzun zaman alacak. İki senaryoda da, evreni uyandırmak ve sonra biyolojik olmayan bir kalıpta insan zekâsını evrene aşılayarak zekice kaderine karar vermek bizim kaderimiz.

Notlar

GİRİŞ

1. Gabriel García Márquez'in *Yüzyıllık Yalnızlık* adlı kitabından bir cümle:

Aureliano Segundo, ancak ertesi sabah kahvaltısından sonra, yağmurun sesini bastıran ve ondan daha akıcı olan zırıltıdan rahatsız olduğu zaman, durumun farkına vardı. Sinirine dokunan dırıltıyı Fernanda çıkarıyordu. Kendisini kraliçe olmak için yetiştirdiklerini, sonunda bu deliler evinde hizmetçi olup çıktığını, kendisi dağılmaya yüz tutmuş bu evi ayakta tutmak için canını tüketirken, kocası olacak o tembel, o sefih, o ahlâksız herifin sırtüstü yatıp gökten ekmek yağsın diye beklediğini söyleyerek evin içinde dolanıyordu. Yapılacak yığınla iş vardı, artık burasına gelmişti, dayanamıyordu, gün doğuşundan gece yatana dek onarılacak, yapılacak bir alay şey oluyordu, gece yatağa girerken yorgunluktan gözleri batıyordu da bir Tanrı'nın kulu çıkıp da ona –Günaydın Fernanda, nasılsın, iyi uyuyabildin mi? diye sormuyordu. Neden böylesine sararıp solduğunu, sabahları kalktığında neden gözlerinin çevresinde mor halkalar olduğunu laf olsun diye bile soran çıkmıyordu. Zaten kendisini her zaman bir başbelası olarak, bir budala olarak gören, arkasından fısıl fısıl konuşan bu aileden daha başka ne beklenirdi ki? Onunla alay ediyorlar, kilise faresi diyorlar, kokona diyorlar, çok bilmiş diyorlar, düzenbaz diyorlardı. Tanrı günahlarını bağışlasın, Amaranta bile, onun kendi bokunu çomaklayan biri olduğunu söylemiş, Tanrı günah yazmasın, bu sözleri ağzına almıştı. Fernanda, yüreğinde Tanrı korkusu olduğu için, bütün bunlara dayanmıştı, ama o Jose Arcadio Segundo olacak alçak, evlerine bu kabız kadının, bu kendini beğenmiş dağlının ayak bastığı günden beri ailenin felaketten kurtulamadığını söyleyince artık dayanamamıştı. Tanrı yardımcımız olsun, ne biçim sözlerdi bunlar, hükümetin işçileri öldürtmek için gönderdiği dağlıların tohumundan olma bir kız demişti, hem de kendisine, Alba Dükü'nün vaftiz çocuğu olan kendisine söylemişti bu sözleri. Kendisi öyle soylu bir ailenin kızıydı ki, soyunu sopunu duyan başkan karılarının ödü patlıyordu. Onun gibi damarlarında soylu kan taşıyan bir hanımefendiye, imzasını atarken tam on bir tane adı peşpeşe sıralamak hakkına sahip olan bir hanıma, hergelelerle dolu bu kasabada on altı parça gümüş çatal bıçağı bir arada görünce aklı başından gitmeyen tek kişi olan kendisine hakaret edeceklerdi ha! Kocası olacak o pis zampara kendisiyle alay edecek, bu kadar çok çatal bıçağın insanların işine yaramayacağını, olsa olsa kırkayakların kullanacağını söyleyerek eğlenecekti ha! Beyaz şarabın ne zaman, hangi taraftan ve hangi kadehle, kırmızı şarabın ne zaman, hangi taraftan ve hangi kadehle servis yapılacağını gözü kapalı bilen, ondan başka kimse yoktu. Beyaz şarabın gündüz, kırmızı şarabın gece içileceğini sanan o köylü bozması –Tanrı günahlarını bağışlasın– Amaranta gibi miydi o? Koskoca kıyı bölgesinde ondan başka kim vardı altın oturağa işemiş? Oysa, –Tanrı günahlarını bağışlasın– Albay Aureliano Buendia, o farmason kafasıyla ona çatmış, bu hakkı nereden aldığını, yoksa bok yerine fesleğen mi sıçtığını –evet, aynen bu sözlerle– sorup alay etmişti. Bunun üzerine odasındaki oturağı kaçamak görmüş olan Renata, kendi öz kızı, tutup, oturak som altından olsa da, üzeri armalı olsa da içindekinin bildiğimiz bok olduğunu, hem de kabız yaylaların boku olduğu için en beteri olduğunu söylemişti. Bir düşünün, insanın öz kızı böyle konuşursa, ailenin öteki bireylerinden ne beklenirdi? Ama ne olursa olsun, kocasının biraz daha düşünceli, biraz daha saygılı olmasını beklemek hakkıydı. Ne de olsa Tanrı'nın emriyle onun kocası, eşi, yasal olarak onun malına konan adamdı. Kendisini babasının evine gelip almıştı, dileye isteye bu sorumluluğu yüklenmiş olması gerekirdi. Babasının evinde bir eksiği yoktu, yediği önünde, yemediği ardındaydı, elini sıcak sudan soğuk suya sokmazdı; yalnızca vaftiz babası, mühürlü yüzüğünü bastığı balmumuyla kapalı zarfta mektup yollayıp, sevgili vaftiz kızının o nazik ellerinin piyano çalmaktan başka bir işle incinmemesini istemişti. Zaman öldürmek için cenaze

çelenkleri örerdi. Oysa kocası olacak o zırdeli bin dereden su getirerek, söz üstüne söz vererek onu evinden almış, insanın sıcaktan soluk alamadığı bu cehennem kazanına getirmiş, daha kendisi orucunu tamamlamadan kocası sandığını sepetini toplamış, akordeonunu almış, bir aşağılık kadının koynuna gitmişti. Dediklerine göre kadının ne mal olduğunu anlamak için arkasından bir bakmak, azgın kısrak gibi kıçını çalkalayışını bir görmek yeterdi. O kadın bir... bir şeydi işte, kendisinin tam tersiydi, ister sarayda, ister domuz ahırında olsun, hanımefendiliği eksilmeyen, sofrada da yatakta da hanımefendi kalan, iyi yetiştirilmiş, Tanrı korkusu nedir bilen, Tanrı'nın yasalarına boyun eğen kendisinin, tam zıddıymış o kadın. Kocası tabii ki öteki kadınla yaptığı akrobatlıkları ve serserice antikalıkları kendisiyle yapamamıştı. öteki kadın ise, Fransız yosmaları gibi, her şeye hazırdı. Onlardan da beterdi. Hiç değilse onlar kapılarına kırmızı fener asmak dürüstlüğünü gösteriyorlardı. Dona Renata Argote ile Don Fernando del Carpio'nun biricik, sevgili kızlarına yaraştırdıkları davranış buydu işte. Oysa babası ne saygın adamdı. Dini bütün bir Hıristiyan, kutsal mezar nişanı almış bir şövalyeydi. Bu nişanı alanlar, Tanrı'nın bağışıyla, mezarlarında bozulmadan yatarlar, yanakları gelin gibi taptaze, gözleri zümrüt gibi duru kalırdı.

2. Onuncu Bölüm'deki 'Genbank DNA Sekans Data Büyümesi' grafiğine bakınız.
3. Cheng Zhang ve Jianpeng Ma, "Açık Çözücüde (explicit solvent) Protein Katlanmasının Geliştirilmiş Örneklemesi ve Uygulamaları", *Journal of Chemical Physics* 132, no. 24 (2010): 244101. Ayrıca protein katlanmasını simüle etmek için dünya çapında beş milyonu aşkın bilgisayarda kullanılan Folding@ Home projesi için bkz. http://folding.standford.edu/English/About
4. Bu argümanın tam tanımı için Ray Kurzweil tarafından yazılan *The Singularity Is Near* kitabında bölüm 6'da "[The Impact...] on the Intelligent Destiny of the Cosmos: Why We Are Probably Alone in the Universe" kısmına bakınız (New York: Viking, 2005).
5. James D. Watson, *Discovering the Brain* (Washington, DC: National Academies Press, 1992).
6. Sebastian Seung, *Connectome: How the Brain's Wiring Makes Us Who We Are* (New York: Houghton Mifflin Harcourt, 2012).
7. "Mandelbrot Zoom", http://www.youtube.com/watch?v=gEw8xpb1aRA; "Fractal Zoom Mandelbrot Corner", http://www.youtube.com/watch?v=G_GBwuYuOOs.

BİRİNCİ BÖLÜM: DÜNYADAKİ DÜŞÜNME DENEYLERİ

1. Charles Darwin, *The Origin of Species* (P. F. Collier & Son, 1909), s. 185/95-96.
2. Darwin, *On the Origin of Species,* 751 (206.1.1-6), Peckham'ın Variorum baskısı, Morse Peckham tarafından düzenlendi, *The Origin of Species by Charles Darwin: A Variorum Text* (Philedelphia: University of Pennsylvania Press, 1959).
3. R. Dahm, "Discovering DNA: Friedrich Miescher and the Early Years of Nucleic Acid Research", *Human Genetics* 122, no. 6 (2008): 565-81, doi:10.1007/s00439-007-0433-0; PMID 17901982.
4. Valery N. Soyfer, "The Consequences of Political Dictatorship for Russian Science", *Nature Reviews Genetics* 2, no. 9 (2001): 723-29, doi:10.1038/35088598; PMID 11533721.
5. J. D. Watson ve F. G. C. Crick, "A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid", *Nature* 171 (1953): 737-38, http://www.nature.com/nature/dna50/watsoncrick.pdf ve "Double Helix: 50 Years of DNA," *Nature* arşiv, http://www.nature.com/nature/dna50/archive.html.
6. Franklin 1958'de öldü ve DNA'nın keşfi için Nobel Ödülü 1962'de verildi. 1962'de Franklin hayatta olsaydı ödülden pay alır mıydı yoksa almaz mıydı diye bir tartışma vardır.

7. Albert Einstein, "On the Electrodynamics of Moving Bodies" (1905). Bu makale özel görelilik teorisi için yazıldı. Bkz. Bruce Lindsay ve Henry Margenau, *Foundations of Physics* (Woodbridge, CT: Ox Bow Press, 1981), s. 330.
8. "Crookes radiometer", Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Crookes_radiometer.
9. Fotonların momentumunun bir kısmının haznedeki hava moleküllerine aktarıldığını (çünkü bu mükemmel bir vakum değil) ve sonra ısınan hava moleküllerinden valfe aktarıldığını not edin.
10. Albert Einstein, "Does the Inertia of a Body Depend Upon Its Energy Content?" (1905). Bu makale Einstein'ın ünlü formülü $E = mc^2$'nin doğruluğunu ortaya koydu.
11. "Albert Einstein's Letters to President Franklin Delano Roosevelt", http://hypertextbook.com/eworld/einstein.shtml

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM: BİR NEOKORTEKS MODELİ: ZİHNİN ŞEKİL TANIMA TEORİSİ

1. Bazı memeli olmayan hayvanların, örneğin kargalar, papağanlar ve ahtapotlar belirli bir seviyede akıl yürütme yetenekleri olduğu rapor edildi; bununla birlikte, bu sınırlı bir yetenek ve onların evrim rotasında gelişme yaratacak aletler için yeterli değil. Bu hayvanlar düşük sayıda hiyerarşik düşünme seviyelerini yürütmek için başka beyin bölgelerinin uyum sağlamasını sağlamış olabilirler ancak insanların gerçekleştirdiği görece sınırsız hiyerarşik düşünme için bir neokorteks gereklidir.
2. V. B. Mountcastle, "An Organizing Principle for Cerebral Function: The Unit Model and the Distributed System" (1978), Gerald M. Edelman ve Vernon B. Mountcastle, *The Mindful Brain: Cortical Organization and the Group-Selective Theory of Higher Brain Function* (Cambridge, MA: MIT Press, 1982) içinde.
3. Herbert A. Simon, "The Organization of Complex Systems", Howard H. Pattee, *Hierarchy Theory: The Challenge of Complex Systems* (New York: George Braziller, Inc.,1973) içinde, http://blog.santafe.edu/wp-content/uploads/2009/03/simon1973.pdf.
4. Marc D. Hauser, Noam Chomsky ve W. Tecumseh Fitch, "The Faculty of Language: What Is It, Who Has It, and How Did It Evolve?", *Science* 298 (Kasım 2002): 1569-79, http://www.sciencemag.org/content/298/5598/1569.
5. Aşağıdaki metin Ray Kurzweil ve Terry Grossman tarafından yazılan *Transcend: Nine Steps to Living Forever,* (New York: Rodale, 2009), kontrol edilebilir rüya tekniğini daha detaylı bir şekilde anlatıyor:

> Uyurken sorun çözmek için bir yöntem geliştirdim. Bunu kendim için on yıllar içerisinde mükemmelleştirdim ve bunun muhtemelen daha iyi çalışacağı algılanması güç yollar öğrendim.
>
> Yatağa girerken kendime çözmek için bir problem vermekle başlıyorum. Bu herhangi bir problem olabilir. Bir matematik sorusu olabilir, icatlarımdan biriyle ilgili bir sorun olabilir, iş stratejisi sorusu olabilir ya da kişisel bir sorun bile olabilir.
>
> Birkaç dakika boyunca sorunu düşüneceğim fakat çözmeye çalışmayacağım. Soruyu çözmek sadece yaratıcı problem çözümünün önünü keser. Bunun hakkında düşünmeye çalışıyorum. Soru hakkında ne biliyorum? Çözüm ne biçimde olabilir? Bu soruları sorduktan sonra uyuyorum. Bunu yapmak bilinçaltı zihnimin sorun üzerinde çalışmasını başlatıyor.
>
> Terry: Sigmund Freud rüya gördüğümüz zaman beynimizdeki denetçilerin çoğunun rahatladığını ve bu şekilde sosyal, kültürel hatta seksüel olarak tabu olan şeyler hakkında rüya görebildiğimize işaret ediyor. Gün içinde düşünmek için kendimize izin vermediğimiz garip şeyler hakkında rüya görebiliriz. Bu en azından rüyaların garip olmasının bir sebebidir.

Ray: Ayrıca insanların yaratıcı bir şekilde düşünmesini engelleyen profesyonel at gözlükleri de vardır ki bunların birçoğu profesyonel eğitimimizden, zihinsel engellerden örneğin "sinyal işleme problemini bu şekilde çözemezsin" ya da "dilbilim bu kuralları kullanmamalıdır," kaynaklanır. Bu zihinsel varsayımlar da uyku evresinde rahatlar, dolayısıyla bu günlük kısıtlamaların yükü olmadan problem çözmenin yeni yolları hakkında rüya göreceğim.

Terry: Beynimizin rüya görürken çalışmayan bir parçası daha var, bir fikrin akla yatkın olup olmadığını değerlendiren akılcı yeteneklerimiz. Dolayısıyla tuhaf ya da gerçekdışı şeylerin rüyalarımızda olmasının bir diğer sebebi de budur. Fil duvarda yürürken filin bunu nasıl yapabildiğine şaşırmayız. Rüyadaki kendimize "Tamam, fil duvarda yürüdü, bu çok büyük bir şey değil," deriz. Gerçekten, gecenin bir yarısı uyandığımda sıklıkla kendimi, kendime atadığım problem hakkında garip ve eğimli yollar düşünürken buluyorum.

Ray: Bir sonraki adım sabahleyin rüyada olmak ile uyanıklık arasında kalmaktır ki buna genellikle kontrol edilen rüya denir. Bu evrede hâlâ rüyalarımın hissine ve görüntüsüne sahibim fakat akılcı becerilerime de sahibim. Örneğin, yatakta olduğumu fark edebiliyorum. Sahip olduğum akılcı düşünceyi daha kesin ve açık bir şekilde ifade edebilirim dolayısıyla yataktan çıksam iyi olur. Ancak bu bir hata olur. Ne zaman yapabilirsem yatakta kalıp bu rüya evresinde devam edeceğim çünkü yaratıcı problem çözme yöntemi için en önemli nokta bu rüya evresidir. Bu arada eğer alarmınız öterse bu yöntem çalışmayacaktır.

Okuyucu: İki dünya arasından en iyisi gibi görünüyor.

Ray: Kesinlikle. Bir gece önce kendime verdiğim sorunla ilgili rüyadaki düşüncelerime hâlâ ulaşabiliyorum. Ancak şu anda, gece boyunca aklıma gelen yaratıcı fikirleri değerlendirmek için yeteri kadar bilinçli ve akılcıyım. Hangisinin mantıklı olduğunu belirleyebilirim. Bundan muhtemelen 20 dakika sonra soruna dair daha canlı fikirlerim olacak.

Buluşlarım bu şekilde ortaya çıktı (ve günün geri kalanını patent başvurusu yazmakla geçirirdim), bunun gibi bir kitap için kullanacağım malzemeleri nasıl düzenleyeceğimi düşünür ve çeşitli problem dizileri için faydalı fikirler üretirdim. Eğer önemli bir karar almam gerekirse her zaman bu işlemi uygularım ve bundan sonra kararıma güvenme ihtimali artar.

Bu işlem için en önemli olan şey peşin hükümlü olmamak için zihninizi rahat bırakmak ve yöntemin ne kadar iyi çalıştığını düşünmemektir. Bu zihinsel disiplinin tersidir. Sorun hakkında düşünün fakat sonra siz uykuya dalarken düşüncelerin sizi kaplamasına izin verin. Sonra sabah, zihninizin rüyalarınızın ürettiği tuhaf fikirlerin üzerinden geçmesine izin verin. Ben bunun rüyalarımdan doğal yaratıcılık toplarken vazgeçilmez bir yöntem olduğuna inanıyorum.

Okuyucu: İçimizdeki işkolikler için artık rüyalarımızda çalışabiliriz. Eşimin bundan hoşlanacağını sanmıyorum.

Ray: Aslında bunu, rüyalarınızın sizin için işinizi yapması olarak düşünebilirsiniz.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM: BİYOLOJİK NEOKORTEKS

1. Steven Pinker, *How the Mind Works* (New York: Norton, 1997), s. 152-53.
2. D. O. Hebb, *The Organization of Behavior* (New York: John Wiley & Sons, 1949).
3. Henry Markram ve Rodrigo Perrin, "Innate Neural Assemblies for Lego Memory", *Frontiers in Neural Circuits* 5, no. 6 (2011).
4. Henry Markram'dan e-posta iletişimi, 19 Şubat 2012.
5. Van J. Wedeen ve ark., "The Geometric Structure of the Brain Fiber Pathways", *Science* 355, no. 6067 (30 Mart 2012).
6. Tai Sing Lee, "Computations in the Early Visual Cortex", *Journal of Physiology–Paris* 97 (2003): 121-39.

7. Makale listeleri şu adreste bulunabilir: http://cbcl.mit.edu/people/poggio/tpcv_short_pubs.pdf.

8. Daniel J. Felleman ve David C. Van Essen, "Distributed Hierarchical Processing in the Primate Cerebral Cortex", *Cerebral Cortex* 1, no. 1 (Ocak/Şubat 1991): 1-47. Neokortekste-ki aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı iletişimin Bayesci matematiğinin zorlu analizi Tai Sing Lee tarafından "Hierarchical Bayesian Inference in the Visual Cortex", *Journal of the Optical Society of America* 20, no. 7 (Temmuz 2003): 1434-48.

9. Uri Hasson ve ark., "A Hierarchy of Temporal Receptive Windows in Human Cortex", *Journal of Neuroscience* 28, no.10 (5 Mart 2008): 2539-50.

10. Marina Bedny ve ark., "Language Processing in the Occipital Cortex of Congenitally Blind Adults", *Proceeding of the National Academy of Sciences* 108, no. 11 (15 Mart 2011): 4429-34.

11. Daniel E. Feldman, "Synaptic Mechanisms for Plasticity in Neocortex", *Annual Review of Neuroscience* 32 (2009): 33-35.

12. Aaron C. Koralek ve ark., "Corticostriatal Plasticity Is Necessary for Learning Intentional Neuroprosthetic Skills", *Nature* 483 (15 Mart 2012): 331-35.

13. Randal Koene'den e-posta iletişimi, Ocak 2012.

14. Min Fui Xinzhu Yu, Ju Lu ve Yi Zuo, "Repetitive Motor Learning Induces Coordinated Formation of Clustered Dendritic Spines *in Vivo*", *Nature* 483 (1 Mart 2012): 92-95.

15. Dario Bonanomi ve ark., "Ret Is a Multifunctional Coreceptor That Integrates Diffusible- and Contact-Axon Guidance Signals", *Cell* 148, no. 3 (Şubat 2012): 568-82.

16. On Birinci Bölüm'deki 7 numaralı nota bakınız.

BEŞİNCİ BÖLÜM: ESKİ BEYİN

1. Vernon B. Mountcastle, "The View from Within: Pathways to the Study of Perception", *John Hopkins Medical Journal* 136 (1975): 109-31.

2. B. Roska ve F. Werblin, "Vertical Interactions Across Ten Parallel, Stacked Representations in the Mammalian Retina", *Nature* 410, no. 6828 (29 Mart 2001): 583-87; "Eye Strips Images of All but Bare Essentials Before Sending Visual Information to Brain, UC Berkeley Research Shows", University of California at Berkeley basın açıklaması, 28 Mart 2001, www.berkeley.edu/news/media/releases/2001/03/28_wer1.html.

3. Lloyd Watts, "Reverse-Engineering the Human Auditory Pathway", J. Liu ve ark. içinde, *WCCI 2012* (Berlin: Springer-Verlag, 2012), s. 47-59. Lloyd Watts, "Real-Time, High-Resolution Simulation of the Auditory Pathway, with Application to Cell-Phone Noise Reduction", *ISCAS* (2 Haziran 2010): 3821-24.

4. Bkz. Sandra Blakeslee, "Humanity? Maybe It's All in the Wiring", *New York Times,* 11 Aralık 2003, http://www.nytimes.com/2003/12/09/science/09BRAI.html.

5. T. E. J. Behrens ve ark., "Non-Invasive Mapping of Connections between Human Thalamus and Cortex Using Diffusion Imaging", *Nature Neuroscience* 6 no. 7 (Temmuz 2003): 750-57.

6. Timothy J. Buschman ve ark., "Neural Substrates of Cognitive Capacity Limitations", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, no. 27 (5 Temmuz 2011): 11252-55, http://www.pnas.org/content/108/27/11252.long.

7. Theodore W. Berger ve ark., "A cortical Neural Prosthesis for Restoring and Enhancing Memory", *Journal of Neural Engineering* 8, no. 4 (Ağustos 2011).

8. Doğrusal olmayan temel fonksiyonlar herhangi bir doğrusal olmayan fonksiyona yaklaştırılmak için doğrusal olarak birleştirilebilir (birden çok ağırlık temelli işlevi birbirine ekleyerek). A Pouget ve L. H. Snyder, "Computational Approaches to Sensorimotor Transformations", *Nature Neuroscience* 3, no. 11 Supplement (Kasım 2000): 1192-98.

9. J. R. Bloedel, "Functional Heterogeneity with Structural Homogeneity: How Does the Cerebellum Operate?", *Behavioral and Brain Sciences* 15, no. 4 (1992): 666-78.

10. S. Grossberg ve R. W. Paine, "A Neural Model of Cortico-Cerebellar Interactions during Attentive Imitation and Predictive Learning of Sequential Handwriting Movements", *Neural Networks* 13, no. 8-9 (Ekim-Kasım 2000): 999-1046.

11. Javier F. Medina ve Michael D. Mauk, "Computer Simulation of Cerebellar Information Processing", *Nature Neuroscience* 3 (Kasım 2000): 1205-11.

12. James Olds, "Pleasure Centers in the Brain", *Scientific American* (Ekim 1956): 105-16. Aryeh Routtenberg, "The Reward System of the Brain", *Scientific American* 239 (Kasım 1978): 154-64. K. C. Berridge ve M. L. Kringelbach, "Affective Neuroscience of Pleasure: Reward in Humans and Other Animals", *Psychopharmacology* 199 (2008): 457-80. Morten L. Kringelbach, *The Pleasure Center: Trust Your Animal Instincts* (New York: Oxford University Press, 2009). Michael R. Liebowitz, *The Chemistry of Love* (Boston: Little, Brown, 1983). W. L. Witters ve P. Jones-Witters, *Human Sexuality: A Biological Perspective* (New York: Van Nostrand, 1980).

ALTINCI BÖLÜM: ÜSTÜN YETENEKLER

1. Michael Nielsen, *Reinventing Discovery: The New Era of Networked Science* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2012), s. 1-3. T. Gowers ve M. Nielsen, "Massively Collaborative Mathematics", *Nature* 461, no. 7266 (2009): 879-81. "A Combinatorial Approach to Density Hâles-Jewett", *Gower's Weblog*, http://gowers.wordpress.com/2009/02/02/a-combinatorial-approach-to-density-hâles-jewett/. Michael Nielsen, "The Polymath Project:Scope of Participation", 20 Mart 2009, http://michaelnielsen.org/blog/?p=584. Julie Rehmeyer, "SIAM: Massively Collaborative Mathematics", Society for Industrial and Applied Mathematics, 1 Nisan 2010, http://www.siam.org/news/news.php?id=1731.

2. P. Dayan ve Q. J. M. Huys, "Serotonin, Inhibition, and Negative Mood", *PloS Computational Biology* 4, no. 1 (2008), http://compbiol.plosjournals.org/perlserv/?request=get-document&doi=10.1372/journal.pcbi.0040004.

YEDİNCİ BÖLÜM: BİYOLOJİDEN İLHAM ALAN DİJİTAL NEOKORTEKS

1. Gary Csiko, *Without Miracles: Universal Selection Theory and the Second Darwinian Revolution* (Cambridge, MA:MIT Press, 1955).

2. David Dalrymple sekiz yaşında olduğu 1999 yılından beri benim için akıl hocalığını yaptığım bir öğrenci oldu. Dalrymple'ın geçmişini buradan okuyabilirsiniz: http://esp.mit.edu/learn/teachers/davidad/bio.html ve http://www.brainsciences.org/Research-Team/mr-david-dalrymple.html.

3. Jonathan Fildes, "Artificial Brain '10 Years Away'", BBC News, 22 Temmuz, 2009, http://news.bbc.co.uk/2/hi/8164060.stm. Ayrıca "Henry Markram od Simulating the Brain: The

Next Decisive Years" videosunu izleyin: http://www.kurzweilai.net/henry-markram-simu-laring-the-brain-next-decisive-years.

4. M. Mitchell Waldrop, "Computer Modeling: Brain in a Box", *Nature News,* 22 Kasım 2012, http://www.nature.com/news/computer-modelling-brain-in-a-box-1.10066.

5. Jonah Lehrer, "Can a Thinking, Remembering, Decision-Making Biologically Accurate Brain Be Built from a Supercomputer?", *Seed,* http://seedmagazine.com/content/article/out_of_the_blue/.

6. Fildes, "Artificial Brain '10 Years Away.'"

7. Bkz. http://www.humanconnectomeproject.org/.

8. Anders Sandberg ve Nick Bostrom, *Whole Brain Emulation: A Roadmap,* Technical Report #2008-3 (2008), Future of Humanity Institute, Oxford University, www.fhi.ox.ac.uk/reports/2008-3.pdf.

9. Sinirsel ağ algoritması için basit bir şema verelim. Bir sürü değişken mümkün ve sistemin tasarımcısı aşağıda detayları verilen belirli kritik parametre ve yöntemleri sağlamalıdır.

Bir soruna sinirsel ağ çözümü aşağıdaki adımları içerir:

Girdiyi tanımla.

Sinirsel ağın topolojisini tanımla (yani, nöron katmanlarını ve nöronlar arasındaki bağlantıları).

Sinirsel ağı sorun örneklerinde eğit.

Eğitilen sinirsel ağı sorunun yeni örneklerini çözmesi için çalıştır.

Sinirsel ağ şirketini halka aç.

Bu adımlar (sonuncusu hariç) aşağıda detaylandırıldı:

Sorun Girdisi

Sinirsel ağa giren sorun girdisi bir dizi numaradan oluşur. Bu girdi:

Görsel şekil tanıma sisteminde, iki boyutlu numara dizini bir görüntünün piksellerini temsil eder; ya da

İşitsel (örneğin, konuşma) tanıma sisteminde, iki boyutlu bir dizindeki bir boyut ses parametrelerini (örneğin, ses frekanslarını) ve ikinci boyut da zamandaki farklı noktaları gösterir; ya da

Rastgele bir şekil tanıma sisteminde, *n*-boyutlu sayı dizini girdi şeklini temsil eder.

Topolojiyi Tanımlamak

Sinirsel ağı kurmak için, her nöronun mimarisi:

Her girdinin ya bir diğer nöronun çıktısıyla ya da girdi sayılarından biriyle "bağlı" olduğu birden çok girdiden oluşur.

Genellikle, ya bir başka nöronun girdisiyle (ki bu genellikle daha üst bir katmanda olur) ya da son çıktıyla bağlanan tek bir çıktıdan oluşur.

İlk Nöron Katmanını Oluşturmak

İlk katmanda N_0 tane nöron yaratın. Bu nöronların her biri için problem girdisinde, nöronların her birinin girdisini "noktalara" (diğer bir deyişle numaralara) bağlayın. Bu bağlantılar rastgele bir şekilde ya da evrimsel bir algoritmaya göre belirlenebilir (aşağıya bakınız).

Yaratılan her bağlantı için başlangıçta "sinaptik güç" belirleyin. Bu ağırlıklar aynı başlayabilir, rastgele belirlenebilir ya da bir başka şekilde belirlenebilir (aşağıya bakınız).

Ek Nöron Katmanlarını Oluşturmak

Toplamda M tane nöron katmanı oluşturun. Her katman için o katmandaki nöronları oluşturun. $Katman_i$ için:

$Katman_i$'de N_i tane nöron yaratın. Bu nöronların her biri için nörondaki birden çok girdiyi $katman_{i-1}$'deki nöronların çıktılarına "bağlayın" (aşağıda çeşitlemeler bölümüne bakınız).

Yaratılan her bağlantı için başlangıç "sinaptik gücü" belirleyin. Bu ağırlıkların hepsi aynı başlayabilir, rastgele belirlenebilir ya da başka şekilde belirlenebilir (aşağıya bakınız).

$Katman_M$'deki nöronların çıktıları nöron ağının çıktılarıdır (aşağıda çeşitlemeler bölümüne bakınız).

Tanıma Denemeleri

Nöronlar Nasıl Çalışır

Nöronlar oluşturulduktan sonra her tanıma denemesi için şunları yaparlar:

Nöron için ağırlıklı her girdi, bu nöronun girdisinin bağlantının sinaptik gücüne göre bağlı olduğu diğer nöronun çıktısının (ya da ilk girdi) çoğaltılmasıyla hesaplanır.

Nörona gelen bu ağırlıklı girdilerin hepsi birbirine eklenir.

Eğer toplam bu nöronun ateşleme eşiğinden yüksek ise bu nöronun ateşleyeceği düşünülür ve çıktısı 1'dir. Diğer şekilde çıktısı 0'dır (aşağıda çeşitlemeler bölümüne bakınız).

Her Tanıma Denemesi için Aşağıdakileri Uygulayınız

Her katman için, $katman_0$'dan $katman_M$'ye kadar:

Katmandaki her nöron için:

Nöronun ağırlıklı girdilerini toplayınız (her ağırlıklı girdi = bu nörona giren girdinin bağlı olduğu diğer nöronun çıktısı [ya da başlangıç girdisi] bu bağlantının sinaptik gücüyle çarpımı).

Eğer bu ağırlıklı girdilerin toplamı bu nöronun ateşleme eşiğinden yüksekse, nöronun çıktısını 1 olarak işaretleyin, diğer durumda 0 olarak işaretleyin.

Sinirsel Ağı Eğitmek

Tekrar eden tanıma denemelerini örnek problemler üzerinde çalıştırın.

Her denemeden sonra, tüm nöronlar arası bağlantıların sinaptik gücünü bu denemedeki sinirsel ağın performansını artırmak için ayarlayın (bunu nasıl yapacağınızı anlamak için tartışma bölümüne bakınız).

Sinirsel Ağın kesinlik oranı artık gelişmeyene dek bu eğitime devam edin (diğer bir deyişle asimptota ulaşana kadar).

Önemli Tasarım Kararları

Yukarıdaki basit şemada sinirsel ağ algoritması tasarımcısının çıktı dizisi için şunları belirlemesi gerekiyor:

Girdi sayılarının neyi temsil ettiği.

Nöron katman sayısı.

Her katmandaki nöron sayısı. (Her katman zorunlu olarak aynı sayıda nöron içermek durumunda değildir.)

Her katmanda her nöron için girdi sayısı. Girdi sayısı (yani nöronlar arası bağlantılar) ayrıca nörondan nörona ve katmandan katmana değişebilir.

Gerçek "bağlanma" (yani, bağlantılar). Her katmandaki her nöron için bu bir nöron listesi içerir, ki bunların çıktıları diğer bir nöronun girdilerini oluşturur. Bu önemli bir tasarım alanını temsil eder. Bunu yapmanın birkaç olası yolu var:

(1) Sinirsel ağı rastgele bağla; ya da
(2) En uygun bağlama şeklini belirlemek için evrimsel bir algoritma kullanın; ya da
(3) Bağlamayı belirlemek için sistem tasarımcısının düşüncelerinden faydalanın.

Her bağlantının başlangıçtaki sinaptik güçleri (yani ağırlıklar). Bunu yapmanın da birkaç olası yolu vardır:

(1) Sinaptik güçleri aynı değere getirin; ya da
(2) Sinaptik güçleri rastgele farklı değerlere getirin; ya da
(3) İlk değerlerin en uygun dizisini belirlemek için evrimsel bir algoritma kullanın; ya da
(4) İlk değerleri belirlemek için sistem tasarımcısının düşüncelerinden faydalanın.

Her nöronun ateşleme eşiği.

Çıktıyı belirleyin. Çıktı:

(1) $Katman_M$'deki nöronların çıktıları; ya da
(2) Girdileri $katman_M$'deki nöronların çıktıları olan tek bir çıktı nöronunun çıktısı; ya da
(3) $Katman_M$'deki nöronların çıktılarının bir fonksiyonu (diğer bir deyişle toplamı); ya da
(4) Birden çok katmandaki nöron çıktılarının başka bir fonksiyonu olabilir.

Sinirsel ağın eğitilmesi sırasında tüm bağlantıların sinaptik güçlerinin nasıl ayarlandığını belirleyin. Bu önemli bir tasarım kararıdır ve ciddi boyutlarda araştırma ve tartışmanın konusudur. Bunu yapabilmenin de birkaç yolu var:

(1) Her tanıma denemesi için her sinaptik güçteki (genellikle düşük) sabit bir artış ya da azalma olur ve bu şekilde sinirsel ağın çıktısı doğru cevapla daha yakından eşleşir. Bunu yapmanın bir yolu sinaptik gücü hem artırıp hem azaltarak hangisinin daha istenen sonucu verdiğine bakmaktır. Bu zaman gerektirebilir dolayısıyla her sinaptik gücü artırmak ya da azaltmak için yerel karar vermenin başka yöntemleri vardır.
(2) Her tanıma denemesinden sonra sinaptik güçleri değiştirmek için başka istatistiki yöntemler vardır bu sayede sinirsel ağın belirli bir denemedeki performansı doğru cevapla daha yakından eşleşir.

Unutmayalım ki, sinirsel ağ eğitimi eğitim denemelerindeki cevapların hepsi doğru olmasa da çalışacaktır. Bu, hata payını içinde bulunduran gerçek eğitme verisini kullanmayı sağlar. Sinirsel ağ tabanlı tanıma sisteminin başarısı için önemli olan bir nokta eğitim için kullanılan veri miktarıdır. İnsan öğrencilerde olduğu gibi sinirsel ağın dersini öğrenmesi için harcadığı zaman performansı için önemli bir faktördür.

Çeşitlemeler

Yukarıdakilerin birçok çeşitlemesi uygulanabilir. Örneğin:

Topolojiyi belirlemenin farklı yolları vardır. Özellikle nöronlar arası bağlanma rastgele ya da evrimsel algoritma kullanılarak kurulabilir.

Başlangıçtaki sinaptik güçleri belirlemenin farklı yolları vardır.

$Katman_i$'deki nöronlar $katman_{i-1}$'deki nöronların çıktılarından gelmek zorunda değildir. Bundan farklı olarak, girdiler her katmandaki nörona daha alt katmandan ya da herhangi bir katmandan da gelebilir.

Son çıktıyı belirlemenin farklı yolları vardır.

Yukarıda tarif edilen yöntem doğrusalsızlık adı verilen "ya hep ya hiç" (1 ya da 0) ateşlemesinden kaynaklanır. Kullanılabilecek doğrusal olmayan başka fonksiyonlar da vardır. Genellikle 0'dan 1'e hızlıca fakat daha kademeli bir şekilde giden bir fonksiyon kullanılır. Ayrıca çıktılar 0 ve 1'den farklı numaralar olabilir.

Eğitim boyunca sinaptik güçleri ayarlamak için farklı yöntemler önemli tasarım kararlarını temsil eder.

Yukarıdaki şema "eş zamanlı" bir sinirsel ağı tarif ediyor ki bu ağ her tanıma denemesine katman$_0$'dan başlayıp katman$_M$'e kadar, her katmanın çıktılarını hesaplayarak devam eder. Her nöronun diğerlerinden bağımsız bir şekilde çalıştığı tam paralel bir sistemde nöronlar "eş zamanlı olmayan" bir şekilde (diğer bir deyişle, birbirinden bağımsız) çalışabilir. Eş zamanlı olmayan yaklaşımda, her nöron sürekli olarak girdilerini tarar ve ağırlıklı girdilerin toplamı eşiği geçtiğinde (ya da çıktı fonksiyonu neyi belirliyorsa) nöronlar ateşler.

10. Robert Mannell, "Acoustic Representation of Speech", 2008, http://clas.mq.edu.au/acoustics/frequency/acoustic_speech.html

11. Genetik algoritmalar için temel şema aşağıdadır. Birçok çeşitleme mümkün ve sistemin tasarımcısının sağlaması gereken belirli kritik parametreler ve yöntemler aşağıda detaylandırıldı.

Evrimsel Algoritma

N tane çözüm "yaratığı" yaratın. Her biri:

Bir genetik koda sahip olsun: Sorunun olası çözümünü nitelendiren sayı dizisini belirleyen bir genetik kod. Numaralar kritik parametreleri, çözüm adımlarını, kuralları vs. temsil eder.

Her evrim nesli için şunları yapın:

Her *N* çözüm yaratığı için aşağıdakileri yapın:

Çözüm yaratığının çözümünü (genetik kodla verilen şekilde) soruna ya da simüle edilen ortama uygulayın. Çözümü puanlayın.

En yüksek hayatta kalma puanına sahip olan *L* çözüm yaratığını bir sonraki nesle aktarmak için seçin.

(*N*-*L* arasından) hayatta kalmayan yaratıkları eleyin.

L hayatta kalan çözüm yaratıklarının arasından yeni çözüm yaratıkları (*N*-*L*) yaratın:

(1) *L* hayatta kalan yaratıktan kopyalar yapın. Her kopyaya küçük çeşitlilikler ekleyin; ya da
(2) *L* hayatta kalan yaratığın genetik kodun parçalarını birleştirerek ("eşeyli" üremeyi kullanarak ya da diğer şekilde kromozomların kısımlarını birleştirerek) ek çözüm yaratıkları yaratın; ya da
(3) (1) ve (2)'nin bir kombinasyonunu uygulayın.

Evrime devam edip etmeyeceğinizi belirleyin;

Gelişme = (bu nesildeki en yüksek puan) – (bir önceki nesildeki en yüksek puan)

Eğer Gelişme < Gelişme eşiği ise işimiz bitiyor.

Evrimin son neslinde en yüksek puana sahip olan çözüm yaratığı en iyi çözümü verir. Genetik koduyla tanımlanan bu çözümü soruna uygulayın.

Önemli Tasarım Kararları

Yukarıdaki basit şemada tasarımcının çıktı dizisini belirlemesi gerekir:

Önemli Parametreler:

N

L

Gelişme eşiği.

Genetik koddaki numaraların neyi temsil ettiği ve çözümün genetik koddan nasıl hesaplandığı.

İlk nesildeki N çözüm yaratığını belirlemek için bir yöntem. Genellikle bunlar çözüm için sadece "akla uygun" girişimler olmalıdır. Eğer ilk nesildeki çözümler cevaptan fazlasıyla uzakta çıkarsa bu evrimsel algoritmanın iyi bir çözüme yaklaşmakta bir zorluk yaşadığı anlamına geliyor olabilir. İlk çözüm yaratıklarını birbirlerinden makul bir şekilde çeşitli olacak halde yaratmak genellikle işe yarar. Bu evrimsel sürecin sadece "yerel olarak" uygun bir çözüm olmasını engellemeye yardımcı olacaktır.

Çözümlerin nasıl puanlandığı.

Hayatta kalan çözüm yaratıklarının nasıl çoğaldığı.

Çeşitlemeler

Yukarıdaki çeşitlemelerin çoğu uygulanabilir. Örneğin:

Hayatta kalan çözüm yaratıklarının (L) sabit bir sayıya sahip olmasına gerek yoktur. Hayatta kalma kural(lar)ı çeşitli sayılara izin verebilir.

Her nesilde (N - L) yaratılan yeni çözüm yaratıklarının sabit bir sayıya sahip olmasına gerek yoktur. Üretme kuralları popülasyonun boyutundan bağımsız olabilir. Üretme, hayatta kalmayla ilişkili olabilir ve bu sebeple en uyumlu çözüm yaratıklarının daha çok üretmesine izin verir.

Evrime devam edip etmeme kararı çeşitlilik gösterir. En yeni nesillerdeki en yüksek puanlı çözüm yaratıklarından daha fazlasını düşünebilir. Ayrıca son iki neslin ötesine uzanan bir eğilimi de düşünebilir.

12. Dileep George, "How the Brain Might Work: A Hierarchical and Temporal Model for Learning and Recognition" (PhD Dissertation, Stanford University, Haziran 2008).

13. A. M. Turing, "Computing Machinery and Intelligence", *Mind*, Ekim 1950.

14. Hugh Loebner'in her yıl "Loebner Ödülü" yarışması olur. Loebner gümüş madalyası Turing'in özgün sadece-metin testini geçen bir bilgisayar alacak. Altın madalya testin ses ve video girdi ve çıktısını içeren versiyonunu geçen bilgisayara gidecek. Benim görüşüm, ses ve videonun teste eklenmesinin testi daha zor hâle getirmediğidir.

15. "Cognitive Assistant That Learns and Organizes", Artificial Intelligence Center, SRI International, http://www.ai.sri.com/project/CALO.

16. Dragon Go! Nuance Communications, INC., http://www.nuance.com/products/dragon-go-in-action/index.htm.

17. "Overcoming Artificial Stupidity", *WolframAlpha Blog,* 17 Nisan 2012, http://blog.wolframalpha.com/author/stephenwolfram/.

SEKİZİNCİ BÖLÜM 8: BİR BİLGİSAYAR OLARAK ZİHİN

1. Salomon Bochner, A Biographical Memoir of John von Neumann (Washington, DC: National Academy of Sciences, 1958).

2. A. M. Turing, "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem", *Proceedings of the London Mathematical Society* Dizi 2, cilt 42 (1936-37): 230-65, http://www.comlab.ox.ac.uk/activities/ieg/e-library/sources/tp2-ie.pdf. A.M. Turing, "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem: A Correction", *Proceedings of the London Mathematical Society* 43 (1938): 544-46.

3. John von Neumann, "First Draft of a Report on the EDVAC", *Moore School of Electrical Engineering*, University of Pennsylvania, 30 Haziran 1945. Claude Shannon, "A Mathematical Theory of Communication", *Bell System Technical Journal,* Temmuz ve Ekim 1948.

4. Jeremy Bernstein, *The Analytical Engine: Computers–Past, Present, and Future,* düzenlenmiş basım (New York: William Morrow & Co., 1981).
5. "Japan's K Computer Tops 10 Petaflop/s to Stay Atop TOP500 List", *Top 500,* 11 Kasım 2011, http://top500.org/lists/2011/11/press-release.
6. Carver Mead, *Analog VLSI and Neural Systems* (Reading, MA: Addison-Wesley, 1986).
7. "IBM Unveils Cognitive Computing Chips", IBM basın büteni, 18 Ağustos 2011, http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/35251.wss.
8. "Japan's K Computer Tops 10 Petaflop/s to Stay Atop TOP500 List."

DOKUZUNCU BÖLÜM: ZİHİN ÜZERİNE DÜŞÜNME DENEYLERİ

1. John R. Searle, "I Married a Computer", Jay W. Richards, bas., *Are We Spiritual Machines? Ray Kurzweil vs. the Critics of Strong AI* içinde, (Seattle: Discovery Institute, 2002).
2. Stuart Hameroff, *Ultimate Computing: Biomolecular Consciousness and Nanotechnology* (Amsterdam: Elsevier Science, 1987).
3. P. S. Sebel ve ark., "The Incidence of Awareness during Anesthesia: A Multicente United States Study", *Anesthesia and Analgesia* 99 (2004): 833-39.
4. Stuart Sutherland, *The International Dictionary of Psychology* (New York: Macmillan, 1990).
5. David Cockburn, "Human Beings and Giant Squids", *Philosophy* 69, no. 268 (Nisan 1994): 135-90.
6. Ivan Petrovich Pavlov, 1913'te yapılan konferanstan, *Lectures on Conditioned Reflexes: Twenty-Five Years of Objective Study of the Higher Nervous Activity [Behavior] of Animals* (Londra: Martin Lawrence, 1928), s. 222.
7. Roger W. Sperry, James Arthur'un *Lecture on the Evolution of Human Brain* eserinden, 1964, s. 2.
8. Henry Maudsley, "The Double Brain", *Mind* 14, no. 54 (1889): 161-87.
9. Susan Curtiss ve Stella de Bode, "Language after Hemispherectomy", *Brain and Cognition* 43, no.1-3 (Haziran-Ağustos 2000): 135-38.
10. E. P. Vining ve ark., "Why Would You Remove Half a Brain? The Outcome of 58 Children after Hemispherectomy–the Johns Hopkins Experience: 1968 to 1996", *Pediatrics 100* (Ağustos 1997): 163-71. M. B. Pulsifer ve ark., "The Cognitive Outcome of Hemispherectomy in 71 Children", *Epilepsia* 45, no. 3 (Mart 2004): 243-54.
11. S. McClelland III ve R. E. Maxwell, "Hemispherectomy for Intractable Epilepsy in Adults: The First Reported Series," *Annals of Neurology* 61, no. 4 (Nisan 2007): 372-76.
12. Lars Muckli, Marcus J. Naumerd ve Wolf Singer, "Bilateral Visual Field Maps in a Patient with Only One Hemisphere", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, no. 31 (4 Ağustos 2009), http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0809688106.
13. Marvin Minsky, *The Society of Mind* (New York: Simon and Schuster, 1988).
14. F. Fay Evans-Martin, *The Nervous System* (New York: Chelsea House, 2005), http://www.scribd.com/doc/5012597/The-Nervous-System.
15. Benjamin Libet, *Mind Time: The Temporal Factor in Consciousness* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 2005).

16. Daniel C. Dennett, *Freedom Evolves* (New York: Viking, 2003).
17. Michael S. Gazzaniga, *Who's in Charge? Free Will and the Science of the Brain* (New York: Ecco/HarperCollins, 2011).
18. David Hume, *An Enquiry Concerning Human Understanding* (1765), 2. baskı, düzenleyen Eric Steinberg (Indianapolis: Hackett, 1993).
19. Arthur Schopenhauer, *The Wisdom of Life.*
20. Arthur Schopenhauer, *On the Freedom of the Will* (1839).
21. Raymond Smullyan, *5000 B.C. and Other Philosophical Fantasies* (New York: St. Martin's Press, 1983).
22. Kimlik ve bilinç üzerine benzer meseleler hakkında bilgi veren ve eğlenceli bir inceleme için Martine Rothblatt'a bakınız. "The Terasem Mind Uploading Experiment", *International Journal of Machine Consciousness* 4, no. 1 (2012): 141-58. Bu makalede Rothblatt, kimlik konusunu "bir insan hakkında video röportajları ve ilgili bilgiler verisine" bağlı olarak insanı simüle eden bir yazılıma göre inceliyor. Öne sürülen bu gelecek deneyinde yazılım başarılı bir şekilde temel aldığı insanı simüle ediyor.
23. "How Do You Persist When Your Molecules Don't?", *Science and Consciousness Review* 1, no. 1 (Haziran 2004), http://sci-con.org/articles/20040601.html.

ONUNCU BÖLÜM: İVMELENEN GERİ DÖNÜŞLER KURALININ BEYNE UYGULANMASI

1. "DNA Sequencing Costs", National Human Genome Research Institute, NIH, http://www.genome.gov/sequencingcosts/.
2. "Genetic Sequence Data Bank, Distribution Release Notes", 15 Aralık 2009, National Center for Biotechnology Information, National Library of Medicine, ftp://ftp.ncbi.nih.gov/genbankgbrel.txt.
3. "DNA Sequencing–The History of DNA Sequencing," 2 Ocak 2012, http://dnasequencing.org/history-of-dna.
4. "Cooper's Law", ArrayComm, http://www.arraycomm.com/technology/coopers-law.
5. "The Zettabyte Era", Cisco, http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns705/ns827/VNI_Hyperconnectivity_WP.html, ve "Number of Internet Hosts", Internet Systems Consortium, http://www.isc.org/solutions/survey/history.
6. TeleGeography © Primetrica, Inc., 2012.
7. Dave Kristula, "The History of the Internet" (Mart 1997, yenileme Ağustos 2001), http://www.davesite.com/webstation/net-history.shtml; Robert Zakon, "Hobbes' Internet Timeline v8.0", http://www.zakon.org/robert/internet/timeline; Quest Communications, 8-K for 9/13/1998 EX-99.1; *Converge! Network Digest,* 5 Aralık 2002, http://www.convergedigest.com/Daily/daily.asp?vn=v9n229&fecha=December%2005,%202002; Jim Duffy, "AT&T Plans Backbone Upgrase to 40G", *Computerwprld*, 7 Haziran 2006, http://www.computerworld.com/action/article.do?command=viewArticleBasic&articleId=9001032; "40G: The Fastest Connection You Can Get?", InternetNews.com, 2 Kasım 2007, http://www.internetnews.com/infra/article.php/3708936; "Verizon First Global Service Provider to Deploy 100G on U.S. Long-Haul Network", basın bülteni, Verizon, http://newscenter.verizon.com/press-releases/verizon/2011/verizon-first-global-service.html.
8. Facebook, "Key Facts", http://newsroom.fb.com/content/default.aspx?NewsAreaId=22.

9. http://www.kurzweilai.net/how-my-predictions-are-faring.

10. 1.000 dolara bir saniyede yapılan hesaplama

Yıl	*1.000 dolara 1 saniyede yapılan hesaplamalar*	*Makine*	*Doğal logaritma (hes./saniye/bindolar)*
1900	5.82E-06	Analytical Engine	-12.05404
1908	1.30E-04	Hollerith Tabulator	-8.948746
1911	5.79E-05	Monroe Calculator	-9.757311
1919	1.06E-03	IBM Tabulator	-6.84572
1928	6.99E-04	National Ellis 3000	-7.265431
1939	8.55E-03	Zuse 2	-4.762175
1940	1.43E-02	Bell Calculator Model 1	-4.246797
1941	4.63E-02	Zuse 3	-3.072613
1943	5.31E+00	Collossus	1.6692151
1946	7.98E-01	ENIAC	-0.225521
1948	3.70E-01	IBM SSEC	-0.994793
1949	1.84E+00	BINAC	0.6081338
1949	1.04E+00	EDSAC	0.0430595
1951	1.43E+00	Univac I	0.3576744
1953	6.10E+00	Univac II03	1.8089443
1953	1.19E+01	IBM 701	2.4748563
1954	3.67E-01	EDVAC	-1.002666
1955	1.65E+01	Whirlwind	2.8003255
1955	3.44E+00	IBM 704	1.2348899
1958	3.26E-01	Datamatic 1000	-1.121779
1958	9.14E-01	Univac II	-0.089487
1960	1.51E+00	IBM 1620	0.4147552
1960	1.52E+02	DEC PDP-1	5.0205856
1961	2.83E+02	DEC PDP-4	5.6436786
1962	2.94E+01	Univac III	3.3820146
1964	1.59E+02	CDC 6600	5.0663853
1965	4.83E+02	IBM 1130	6.1791882
1965	1.79E+03	DEC PDP-8	7.4910876
1966	4.97E+01	IBM 360 Model 75	3.9064073
1968	2.14E+02	DEC PDP-10	5.3641051
1973	7.29E+02	Intellac-8	6.5911249
1973	3.40E+03	Data General Nova	8.1318248
1975	1.06E+04	Altair 8800	9.2667207
1976	7.77E+02	DEC PDP-11 Model 70	6.6554404
1977	3.72E+03	Cray 1	8.2214789
1977	2.69E+04	Apple II	10.198766
1979	1.11E+03	DEC VAX 11 Model 780	7.0157124
1980	5.62E+03	Sun-1	8.6342649
1982	1.27E+05	IBM PC	11.748788
1982	1.27E+05	Compaq Portable	11.748788
1983	8.63E+04	IBM AT-80286	11.365353
1984	8.50E+04	Apple Macintosh	11.350759
1986	5.38E+05	Compaq Deskpro 386	13.195986
1987	2.33E+05	Apple Mac II	12.357076

Yıl	*1.000 dolara 1 saniyede yapılan hesaplamalar*	*Makine*	*Doğal logaritma (hes./saniye/bindolar)*
1993	3.55E+06	Pentium PC	15.082176
1996	4.81E+07	Pentium PC	17.688377
1998	1.33E+08	Pentium II PC	18.708113
1999	7.03E+08	Pentium III PC	20.370867
2000	1.09E+08	IBM ASCI White	18.506858
2000	3.40E+08	Power Macintosh G4/500	19.644456
2003	2.07E+09	Power Macintosh G5 2.0	21.450814
2004	3.49E+09	Dell Dimension 8400	21.973168
2005	6.36E+09	Power Mac G5 Quad	22.573294
2008	3.50E+10	Dell XPS 630	24.278614
2008	2.07E+10	Mac Pro	23.7534
2009	1.63E+10	Intel Core i7 Desktop	23.514431
2010	5.32E+10	Intel Core i7 Desktop	24.697324

11. En iyi 500 Süperbilgisayar Sitesi, http://top500.org/.

12. "Microprocessor Quick Reference Guide", Intel Research, http://www.intel.com/pressroom/kits/quickreffam.htm.

13. 1971-2000 VLSI Research Inc.

2001-2006: *The International Technology Roadmap for Semiconductors,* 2002 Güncellemesi ve 2004 Güncellemesi, Tablo 7a, "Cost–Near-term Years", "DRAM cost/bit at (packaged microcents) at production."

2007-2008: *The International Technology Roadmap for Semiconductors,* 2007, Tablo 7a ve 7b, "Cost–Near-term Years", "Cost–Long-term Years", http://www.itrs.net/Links/2009ITRS/Home2009.htm.

14. Tüm dolar değerlerini kıyaslanabilir hâle getirmek amacıyla her yıl için bilgisayar fiyatları http://minneapolisfed.org/research/data/us/calc adresinden Federal Rezerv Kurulu'nun TÜFE verileri kullanılarak 2000 yılının dolar eşdeğerine çevrildi. Örneğin, 1960 yılındaki 1 milyon dolar 2000 yılındaki 5,8 milyon dolara ve 2004 yılındaki 1 milyon dolar 2000 yılındaki 0,91 milyon dolara eşdeğerdir. 1949: http://www.cl.cam.ac.uk/UoCCL/misc/EDSAC99/statistics.html, http://www.davros.org/misc/chronology.html.

1951: Richard E. Matick, *Computer Storage Systems and Technology* (New York: John Wiley & Sons, 1977); http://inventors.about.com/library/weekly/aa062398.htm.

1955: Matick, *Computer Storage Systems and Technology*; OECD, 1968, http://members.iinet.net.au/~dgreen/timeline.html

1960: ftp://rtfm.mit.edu/pub/usenet/alt.sys.pdp8/PDP-8_Frequently_Asked_Questions_%28posted_every_other_month%29; http://www.dbit.com/~greeng3/pdp1/pdp1.html#INTRODUCTION.

1962: ftp://rtfm.mit.edu/pub/usenet/alt.sys.pdp8/PDP-8_Frequently_Asked_Questions_%28posted_every_other_month%29.

1964: Matick, *Computer Storage Systems and Technology*; http://www.research.microsoft.com/users/gbell/craytalk; http://www.ddj.com/documents/s=1493/ddj0005hc/.

1965: Matick, *Computer Storage Systems and Technology*; http://www.fourmilab.ch/documents/univac/config1108.html; http://www.frobenius.com/univac.htm.

1968: Genel Veri.

1969, 1970: http://www.eetimes.com/special/special_issues/millenium/milestones/whittier.html.

1974: Scientific Electronic Biological Computer Consulting (SCELBI).

1975-1996: *Byte* dergi reklamları.

1997-2000: *PC Computing* dergi reklamları.

2001: www.pricewatch.com (http://www.jc-news.com/parse.cgi?news/pricewatch/raw/pw-010702).

2002: www.pricewatch.com ((http://www.jc-news.com/parse.cgi?news/pricewatch/raw/pw-020624)

2003: http://sharkyextreme.com/guides/WMPG/article.php/10706_2227191_2.

2004: http://www.pricewatch.com (17/11/04).

2008: http://www.pricewatch.com (02/10/08) (16.61$)

15. DataQuest/Intel ve Pathfinder Araştırması:

Yıl	*$*	*Log ($)*
1968	1.00000000	0
1969	0.85000000	-0.16252
1970	0.60000000	-0.51083
1971	0.30000000	-1.20397
1972	0.15000000	-1.89712
1973	0.10000000	-2.30259
1974	0.07000000	-2.65926
1975	0.02800000	-3.57555
1976	0.01500000	-4.19971
1977	0.00800000	-4.82831
1978	0.00500000	-5.29832
1979	0.00200000	-6.21461
1980	0.00130000	-6.64539
1981	0.00082000	-7.10621
1982	0.00040000	-7.82405
1983	0.00032000	-8.04719
1984	0.00032000	-8.04719
1985	0.00015000	-8.80488
1986	0.00009000	-9.31570
1987	0.00008100	-9.42106
1988	0.00006000	-9.72117
1989	0.00003500	-10.2602
1990	0.00002000	-10.8198
1991	0.00001700	-10.9823
1992	0.00001000	-11.5129
1993	0.00000900	-11.6183
1994	0.00000800	-11.7361
1995	0.00000700	-11.8696
1996	0.00000500	-12.2061
1997	0.00000300	-12.7169

Yıl	*$*	*Log ($)*
1998	0.00000140	-13.4790
1999	0.00000095	-13.8668
2000	0.00000080	-14.0387
2001	0.00000035	-14.8653
2002	0.00000026	-15.1626
2003	0.00000017	-15.5875
2004	0.00000012	-15.9358
2005	0.000000081	-16.3288
2006	0.000000063	-16.5801
2007	0.000000024	-17.5452
2008	0.000000016	-17.9507

16. Steve Cullen, In-Stat, Eylül 2008, www.instat.com

Yıl	*Megabit*	*Bit*
1971	921.6	9.216E+08
1972	3788.8	3.789E+09
1973	8294.4	8.294E+09
1974	19865.6	1.987E+10
1975	42700.8	4.270E+10
1976	130662.4	1.307E+11
1977	276070.4	2.761E+11
1978	663859.2	6.639E+11
1979	1438720.0	1.438E+12
1980	3172761.6	3.173E+12
1981	4512665.6	4.513E+12
1982	11520409.6	1.152E+13
1983	29648486.4	2.965E+13
1984	68418764.8	6.842E+13
1985	87518412.8	8.752E+13
1986	192407142.4	1.924E+14
1987	255608422.4	2.556E+14
1988	429404979.2	4.294E+14
1989	631957094.4	6.320E+14
1990	959593126.4	9.506E+14
1991	1546590618	1.547E+15
1992	2845638656	2.846E+15
1993	4177959322	4.178E+15
1994	7510805709	7.511E+15
1995	13010599936	1.301E+16
1996	23359078007	2.336E+16
1997	45653879161	4.565E+16
1998	85176878105	8.518E+16
1999	1.47327E+11	1.473E+17
2000	2.63636E+11	2.636E+17
2001	4.19672E+11	4.197E+17
2002	5.90009E+11	5.900E+17
2003	8.23015E+11	8.230E+17

Yıl	*Megabit*	*Bit*
2004	1.32133E+12	1.321E+18
2005	1.9946E+12	1.995E+18
2006	2.94507E+12	2.945E+18
2007	5.62814E+12	5.628E+18

17. "Historical Notes about the Cost of Hard Drive Storage Space," http://www.littletechshoppe.com/ns1625/winchest.html; *Byte* dergi reklamları, 1977-1998; *PC Computing* dergi reklamları, 3/1999; *Understanding Computers: Memory and Storage* (New York: Time Life, 1990); http://www.cedmagic.com/history/ibm-305-ramac.html; John C. McCallum, "Disk Drive Prices (1955-2012)," http://www.jsmit.com/diskprice.htm; IBM, "Frequently Asked Questions," http://www-03.ibm.com/ibm/history/documents/pdf/faq.pdf; IBM, "IBM 355 Disk Storage Unit," http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/storage/storage_355.html; IBM, "IBM 3380 Direct Access Storage Device," http://www.03-ibm.com/ibm/history/exhibits/storage/storage_3380.html.

18. "Without a Driver or Map, Vans Go from Italy to China", *Sydney Morning Herald,* 29 Ekim 2010, http://www.smh.com.au/technolgy/technology-news/without-driver-or-map-vans-go-from-italy-to-china-20101020-176ja.html.

19. KurzweilAI.net

20. Amiram Grinvald ve Rina Hildesheim'ın izniyle uyarlanmıştır, "VSDI: A New Era in Functional Imaging of Cortical Dynamics", *Nature Reviews Neuroscience* 5 (Kasım 2004): 874-75.

Beyin görüntüleme için kullanılan ana araçlar bu tabloda gösterilmiştir. Bu araçların özellikleri gölgeli dikdörtgenlerle belirtilmiştir.

Mekânsal çözünürlük bir teknikle ölçülebilen en küçük boyutu kasteder. Zamansal çözünürlük tarama zamanı ya da süresidir. Her tekniğin bazı avantajları ve dezavantajları vardır. Örneğin EEG (elektroensefalografi) "beyin dalgalarını" (nöronlardan gelen elektriksel sinyali) ölçer ve çok ani beyin dalgalarını (kısa zaman aralıklarında oluşan) ölçebilir fakat sadece beyin yüzeyine yakın olan sinyalleri algılayabilir.

Buna karşılık, fMRI (fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme) nöronlara doğru giden kan akışını ölçmek için (ki bu nöron etkinliğinin göstergesidir) özel bir MR makinesi kullanır; bu makine beynin (ve omuriliğin) daha derin kısımlarını algılayabilir ve onlarca mikron (metrenin milyonda biri) seviyesine kadar inen, daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Bununla birlikte, fMRI EEG ile kıyaslandığında çok daha yavaş işler.

Bunlar beyne saldırmayan tekniklerdir (hiçbir ameliyat ya da ilaç gerektirmezler). MEG (manyetoensefalografi) de saldırgan olmayan bir başka tekniktir. Bu teknik, nöronlar tarafından oluşturulan manyetik alanları saptar. MEG ve EEG 1 milisaniyeye kadar inen zamansal çözünürlükle beyinde gerçekleşen olayları çözümleyebilir ve en iyi şekilde yüzlerce milisaniyelik zamansal çözünürlüğe inebilen fMRI'dan daha iyidir. MEG ayrıca kesin bir şekilde birincil işitsel, bedensel-duyusal ve motor alanlardaki kaynakların yerini belirler.

Optik görüntüleme tüm mekânsal ve zamansal çözünürlükleri kapsar ancak saldırgandır. VSDI (voltaja duyarlı boyalar) beyin aktivitesini ölçmek için en hassas yöntemdir fakat hayvan korteksinin yüzeyine yakın ölçümlerle sınırlıdır.

Korunmasız korteks kapalı saydam bir hazneyle örtülüdür; korteks uygun bir voltaja duyarlı boyayla işaretlendikten sonra ışıkla aydınlatılır ve yüksek hızlı kamerayla bir dizi gö-

rüntüsü alınır. Laboratuvarda kullanılan diğer optik teknikler içinde iyon görüntüleme (tipik olarak kalsiyum ya da sodyum iyonları) ve floresans görüntüleme sistemleri (eş odaklı görüntüleme ve çok fotonlu görüntüleme) de vardır.

Başka laboratuvar teknikleri arasında PET (pozitron emisyon tomografi, üç boyutlu görüntü oluşturan nükleer medikal görüntüleme tekniği), 2DG (2-deoksiglukoz postmortem histoloji ya da doku analizi), lezyon (bir hayvandaki nöronlara zarar verip etkilerini gözlemlemeyi içerir), patch kenetleme tekniği (biyolojik hücre zarındaki iyon akımını ölçmek için) ve elektron mikroskobu (bir elektron demeti kullanarak çok hassas bir şekilde dokuları ya da hücreleri incelemek) vardır. Bu teknikler ayrıca optik görüntülemeyle birleştirilebilir.

21. 1980-2012 arasında MR'ın mikron ölçüsünde mekânsal çözünürlüğü:

Yıl	*Çözünürlük (mikron)*	*Alıntı*	*URL*
2012	125	"Characterization of Cerebral White Matter Properties Using Quantitative Magnetic Resonance Imaging Stains"	http://dx.doi.org/10.1089/brain.2011.0071
2010	200	"Study of Brain Anatomy with High-Field MRI Recent Progress"	http://dx.doi.org/10.1016/j.mri.2010.02.007
2010	250	"High-Resolution Phased-Array MRI of the Human Brain at 7 Tesla: Initial Experience in Multiple Sclerosis Patients"	http://dx.doi.org/10.1111/j.1552-6569.2008.00338.x
1994	1.000	"Mapping Human Brain Activity in Vivo"	http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1011409/
1989	1.700	"Neuroimaging in Patients with Seizures of Probable Frontal Lobe Origin"	http://dx.doi.org/10.1111/j.1528-1157.1989.tb05470.x
1985	1.700	"A Study of the Septum Pellucidum and Corpus Callosum in Schizophrenia with MR Imaging"	http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0447.1985.tb02634.x
1983	1.700	"Clinical efficiency of Nuclear Magnetic Resonance Imaging"	http://radiology.rsna.org/content/146/1/123.short
1980	5.000	"In Vivo NMR Imaging in Medicine: The Aberdeen Approach, Both Physical and Biological [and Discussion]"	http://dx.doi.org/10.1098/rstb.1980.0071

22. 1983-2011 yılları arasında beyne zarar veren görüntüleme tekniklerinin nanometre ölçüsünde mekânsal çözünürlük değerleri:

Yıl	*x-y çöz. (nm)*	*Alıntı*	*URL*	*Teknik*	*Notlar*
2011	4	Focused Ion Beam Milling and Scanning Electron Microscopy of Brain Tissue"	http://dx.doi.org/10.3792/2588	Odaklı iyon demeti/ taramalı elektron mikroskobu (FIB/SEM)	
2011	4	"Volume Electron Microscopy for Neuronal Circuit Reconstruction"	http://dx.doi.org/10.1016/j.conb.2011.10.022	Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	
2011	4	"Volume Electron Microscopy for Neuronal Circuit Reconstruction"	http://dx.doi.org/10.1016/j.conb.2011.10.022	Geçirimli (transmisyon) elektron mikroskobu (TEM)	
2004	13	"Serial Block-Face Scanning Electron Microscopy to Reconstruct Three Dimensional Tissue Nanostructure"	http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.0020329	Seri blok-yüz taramalı elektron mikroskobu (SBF-SEM)	http://faculty.cs.tamu.edu/choe/ftp/publications/choe.hpc08-reprint.pdf adresinde Yoonsuck Choe tarafından sağlanan sonuçtan alıntılandı.
2004	20	"Wet SEM: A Novel Method for Rapid Diagnosis of Brain Tumors"	http://dx.doi.org/10.1080/0913120490515603	"Wet" taratmalı elektron mikroskobu (wet SEM)	
1998	100	"A Depolarizing Current Contributes to Chemoelectrical Transduction in Olfactory Sensory Neurons in Situ"	http://www.jneurosci.org/content/18/17/6623.full	Taramalı girişimli elektron mikroskobu (STEM)	

Yıl	*x-y çöz. (nm)*	*Alıntı*	*URL*	*Teknik*	*Notlar*
1994	2000	"Enchanced Optical Imaging of Rat Gliomas and Tumor Margins"	http://journals.lww.com/neurosurgery/Abstract/1994/11000/Enhanced_Optical_Imaging_of_Rat_Gliomas_and_Tumor.19.aspx_Optical_Imaging_of_rat_Gliomas_and_Tumor.19.aspx	Geliştirilmiş Optik Görüntüleme	Optik görüntülerin 20 mikron ya da 2 pikselin altında mekânsal çözünürlüğü vardır.
1983	3000	"3D Imaging of X-Ray Microscopy"	http://www.scipress.org/e-library/sof2/pdf/0105.PDF	İzdüşüm mikroskobu	Metinde Şekil 7'ye bakınız.

23. 1985-2012 yılları arasında hayvanlarda uygulanan ve zararlı olmayan görüntüleme tekniklerinin mikron değerinde mekânsal çözünürlükleri:

Yıl	*Buluş*	
2012	Çözünürlük	0.07
	Alıntı	Sebastian Berning ve ark., "Nanoscopy in a Living Mouse Brain," *Science* 335, no. 6068 (3 Şubat, 2012): 551.
	URL	http://dx.doi.org/10.1126/science.1215369
	Teknik	Simulated emission depletion (STED) floresan nanoskopi
	Notlar	Şimdiye kadar ulaşılan en yüksek in vivo çözünürlük
2012	Çözünürlük	0.25
	Alıntı	Sebastian Berning ve ark., "Nanoscopy in a Living Mouse Brain", Science 335, no. 6068 (3 Şubat 2012): 551.
	URL	http://dx.doi.org/10.1126/science.1215369
	Teknik	Konfokal (eş odaklı) ve çok fotonlu mikroskop

Yıl	*Buluş*	
2004	Çözünürlük	50
	Alıntı	Amiram Grinvald ve Rina Hildesheim, "VSDI: A New Era in Functional Imaging of Cortical Dynamics", *Nature Reviews Neuroscience* 5 (Kasım 2004): 874-85.
	URL	http://dx.doi.org/10.1038/nrn1536
	Teknik	Voltaja duyarlı boyalar (VSDI) temel alınarak yapılan görüntüleme
	Notlar	"VSDI yüksek çözünürlük haritaları sağladı ki bunlar sıçramaların gerçekleştiği kortikal sütunlara tekabül ediyor ve 50 µm'den daha iyi bir mekânsal çözünürlük sağlıyor."
1996	Çözünürlük	50
	Alıntı	Dov Malonek ve Amiran Grinvald, "Interactions between Electrical Activity and Cortical Microcirculation Revealed by Imaging Spectroscopy: Implictions for Functional Brain Mapping", *Science* 272, no. 5261 (26 Nisan 1996): 551-54.
	URL	http://dx.doi.org/10.1126/science.272.5261.551
	Teknik	Görüntüleme Spektroskopisi
	Notlar	"Belirli bir beyin alanındaki bireysel kortikal sütunlar arasındaki mekânsal ilişkiler iç sinyalleri temel alan optik görüntüleme ile 50 µm'lik mekansal çözünürlüklerde uygulanabilir hâle geldi."
1995	Çözünürlük	50
	Alıntı	D. H. Turnbull ve ark., "Ultrasound Backscatter Microscope Analysis of Early Mouse Embryonic Brain Development", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 92, no. 6 (14 Mart 1995): 2239-43.
	URL	http://www.pnas.org/content/92/6/2239.short
	Teknik	Ultrasonik geri saçılım mikroskobu
	Notlar	"Ultrasonik geri saçılım mikroskobu adı verilen gerçek zamanlı görüntüleme fare erken embriyonik sinirsel tüplerini görselleştirmek için uygulanabildiğini gösteriyoruz. Bu yöntem embriyojenezin 9.5 ve 11.5 günleri arasında rahimde olan embriyoları 50 µm'ye yaklaşan mekânsal çözünürlükle incelemek için kullanıldı."
1985	Çözünürlük	500
	Alıntı	H. S. Orbach, L. B. Cohen ve A. Grinvald, "Optical Mapping of Electrical Activity in Rat Somatosensory and Visual Cortex", *Journal of Neuroscience* 5, no.7 (1 Temmuz 1985): 1886-95.
	URL	http://www.jneurosci.org/content/5/7/1886.short
	Teknik	Optik yöntemler

ON BİRİNCİ BÖLÜM: İTİRAZLAR

1. Paul G. Allen ve Mark Greaves, "Paul Allen: The Singularity Isn't Near", *Technology Review*, 12 Ekim 2011, http://www.technologyreview.com/blog/guest/27206.
2. ITRS, "International Technology Roadmap for Semiconductors", http://www.itrs.net/Links/2011ITRS/Home2011.htm.
3. Ray Kurzweil, *The Singularity Is Near* (New York: Viking, 2005), bölüm 2.
4. Allen ve Greaves, "The Singularity Isn't Near" içinde son not 2'de şunlar yazıyor: "Böylesine büyük bir beyin simülasyonunu desteklemek için ihtiyacımız olabilecek bilgisayar gücü menziline girmeye başlıyoruz. Petaflop sınıfı bilgisayarlar (örneğin IBM'in BlueGene/P bilgisayarı Watson sisteminde kullanılmıştı) artık piyasada mevcut. Exaflop sınıfı bilgisayarlar da hâlihazırda çizim tahtalarındalar. Bu sistemler, gerçek beyinde gerçekleştiğinden birkaç kat daha yavaş olsa da bütün bir beynin tüm nöronlarını simüle etmek için gerekli olan ham bilgisayım becerisini muhtemelen uygulayabilecekler."
5. Kurzweil, *The Singularity Is Near*, bölüm 9, kısım başlığı "The Criticism from Software" (s. 435-42).
6. *A.g.e.*, bölüm 9.
7. Tekrar eden baz çiftleri yüzünden genomdaki bilgi içeriğini tam olarak belirlemek mümkün olmasa da, bunun toplamda sıkıştırılmamış veriden çok daha az olduğu oldukça açık. Genomun sıkıştırılmış bilgi içeriğini tahmin etmek için iki yaklaşım vardır ki bunların ikisi de 30 ila 100 milyon baytlık bilginin ılımlı bir şekilde yüksek olduğunu gösteriyor.

   1. Sıkıştırılmamış veri için insan genetik kodunda 3 milyar DNA basamağı var, her biri (her DNA baz çifti için 4 olasılık olduğu için) 2 bit kodluyor. Dolayısıyla insan genomu sıkıştırılmamış halde yaklaşık 800 milyon bayttır. Kodlamayan DNA'ya önceden "çöp DNA" deniyordu ancak bu bölgenin gen açıklanmasında önemli bir rol oynadığı artık biliniyor. Bununla birlikte, bu kısım oldukça verimsiz bir şekilde kodlanmış. Bir kere, sıkıştırma algoritmalarının avantaj sağlayacağı kocaman fazlalıklar (örneğin, "ALU" adı verilen dizi yüz binlerce kez tekrar edilmiş) var.

   Genetik veri bankalarının yakın zamanlarda yaşayan patlamasıyla genetik veriyi sıkıştırmaya büyük ilgi doğdu. Genetik veriye standart veri sıkıştırma algoritması uygulama üzerine yakın zamanlarda yapılan bir çalışma veriyi % 90 oranında azaltmanın (mükemmel bit sıkıştırması için) mümkün olduğunu belirtiyor: Hisahiko Sato ve ark., "DNA Data Compression in the Post Genome Era", *Genome Informatics* 12 (2001): 512-14, http://www.jsbi.or/journal/GIW01/GIW01P130.pdf.

   Dolayısıyla genomu bilgi kaybı olmadan neredeyse 80 milyon bayta sıkıştırabiliriz (yani 800 milyon bayttan oluşan sıkıştırılmamış genomu mükemmel bir şekilde yeniden inşa edebiliriz).

   Şimdi, neredeyse genomun % 98'inin proteinler için kodlama yapmadığını düşünün. Standart veri sıkıştırmasından sonra dahi (ki bu fazlalıkları eler ve yaygın diziler için sözlük araması kullanır), kodlamayan bölgelerin algoritmik içeriği biraz düşük görünüyor yani aynı fonksiyonu daha az bit kullanarak uygulayabileceğimiz bir algoritma kodlayabilmemizin olasılığı yüksek. Bununla birlikte, genoma tersine mühendislik yöntemi uygulamanın hâlâ başında olduğumuz için bu düşüşle ilgili işlevsel olarak eş bir algoritmayı temel alacak bir tahmin yürütemeyiz. Dolayısıyla ben genomdaki 30 ila 100 milyon bayttan oluşan sıkıştırılmış bilgiyi kullanıyorum. Bu menzilin en üst kısmı sadece veri sıkıştırmasını varsayıyor ve algoritmik basitleştirmeyi gözardı ediyor.

Bu bilginin (çoğunluğu olsa da) sadece bir kısmı beynin tasarımını nitelendiriyor.

2. Bu mantığın diğer kısmı da şöyle: İnsan genomu 3 milyar baz içeriyor olsa da, yukarıda bahsedildiği gibi sadece küçük bir oran protein kodlar. Şimdiki tahminlerle protein kodlayan 26.000 gen var. Eğer bu genlerdeki ortalama 3.000 bazın faydalı veri olduğunu varsayarsak bazların sayısı sadece yaklaşık 78 milyon olacak. Bir DNA bazı sadece 2 bit gerektiriyor ki bu da yaklaşık 20 milyon bayt (78 milyon baz dörde bölündüğünde) ediyor. Bir genin protein kodlayan dizisinde, her üç DNA bazının "sözcük" (kodon) hâli bir amino asite çevriliyor. Dolayısıyla 4^3 (64) kodon kodu var, her biri üç DNA bazı içeriyor. Ancak 64 tane kodun içinde sadece 20 amino asit artı bir dur kodonu (amino asit kodlamıyor) var. Geri kalan 43 kod 21 tane faydalı olan kodun eş anlamlısı olarak kullanılıyor. 64 muhtemel kombinasyonu kodlamak için 6 bit gerekliyken, 21 olasılığı kodlamak için sadece 4,4 ($log_2 21$) bit gereklidir, 6 bit içinden 1,6 bit (yaklaşık % 27) tasarruf 15 milyon bayta inmemizi sağlar. Buna ek olarak, DNA'nın protein kodlayan kısımlarında yüksek miktarda fazlalığa yer veren çöp-DNA'ya göre daha az sıkıştırma mümkün olsa da tekrar eden dizileri temel alan bazı standart sıkıştırma yöntemleri burada da uygulanabilir. Bu da bilgi büyüklüğünü 12 milyon bayta düşürüyor. Bununla birlikte, gen açıklanmasını kontrol eden kodlama yapmayan DNA kısmına bilgi eklememiz gerekiyor. DNA'nın bu kısmı genomun büyük kısmını oluştursa da düşük bilgi içeriğine sahip gibi görünüyor ve tıka basa fazlalıklar içeriyor. Yaklaşık 12 milyon baytlık protein kodlayan DNA'yla eşleştiği tahminini yaparsak yine yaklaşık 24 milyon bayta ulaşıyoruz. Bu bakış açısından bakıldığında 30 ila 100 milyon tahmini az çok yüksek oluyor.

8. Dharmendra S. Modha ve ark., "Cognitive Computing", *Communications of the ACM* 54, no. 8 (2011): 62-71, http://cacm.acm.org/magazines/2011/8/114944-cognitive-computing/fulltext.
9. Kurzweil, *The Singularity Is Near,* bölüm 9, kısım başlığı "The Criticism from Ontology: Can a Computer Be Conscious?" (s. 458-69).
10. Michael Denton, "Organism and Machine: The Flawed Analogy", *Are We Spiritual Machines? Ray Kurzweil vs. the Critics of Strong AI* (Seattle: Discovery Institute, 2002).
11. Hans Moravec, *Mind Children* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1998).

SONSÖZ

1. "In U.S., Optimism about Future for Youth Reaches All-Time Low", Gallup Politics, 2 Mayıs 2011, http://www.gallup.com/poll/14350/optimism-future-youth-reaches-time-low.aspx.
2. James C. Riley, *Rising Life Expectancy: A Global History* (Cambridge: Cambridge University Press, 2001).
3. J. Bradford DeLong, "Estimating World GDP, One Million B.C.–Present", 24 Mayıs 1998, http://econ161.berkeley.edu/TCEH/1998_Draft/World_GDP/Estimating_World_GDP.html, ve http://futurist.typepad.com/my_weblog/2007/07/economic-growth.html. Ayrıca bakınız, Peter H. Diamandis ve Steven Kotler, *Abundance: The Future is Better Than You Think* (New York: Free Press, 2012).
4. Martine Rothblatt, *Transgender to Transhuman* (özel basım, 2011). Rothblatt "transinsanlar" için nasıl benzer bir kabul etme yörüngesinin en iyi ihtimalle gerçekleşeceğini, örneğin, bölüm 9'da tartışıldığı gibi biyolojik olmayan fakat ikna edici şekilde bilinçli zihinleri açıklıyor.

5. Aşağıdaki alıntı Ray Kurzweil'ın *The Singularity Is Near,* bölüm 3'ünden (s. 133-35), (New York: Viking, 2005)'ten alınmıştır ve fizik kurallarına bağlı olarak bilgisayımın limitlerini tartışır.

Bilgisayarların nihai sınırları son derece yüksekte. Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley'de çalışan Profesör Hans Bremermann ve nanoteknoloji teorisyeni Robert Freitas'ın çalışması üzerine ekleyerek MIT'de çalışan Profesör Seth Lloyd en yüksek bilgisayımsal kapasiteyi bilinen fizik kurallarını temel alarak bir bilgisayarın bir kilogram ağırlığında olacağı ve bir litre hacim kaplayacağı –yaklaşık küçük bir dizüstü bilgisayarın boyutu ve ağırlığı kadar– tahmininde bulundu ve buna "nihai dizüstü bilgisayar" adını verdi.

[Not: Seth Lloyd, "Ultimate Physical Limits to Computation", *Nature* 406 (2000): 1047-54.

[Bilgisayımın sınırları üzerine ilk çalışma Hans J. Bremermann tarafından 1962'de yapıldı: Hans J. Bremermann, "Optimization Through Evolution and Recombination", M. C. Yovits, C. T. Jacobi, C. D. Goldstein ed., *Self-Organizing Systems* (Washington, D.C.: Spartan Books, 1962), s. 93-106.

[1984'te Robert A. Freitas Jr. Bremermann'ın çalışması üzerine ekledi, Robert A. Freitas Jr., "Xenopsychology", *Analog* 104 (Nisan 1984): 41-53, http://www.rfreitas.com/Astro/Xenopsychology.htm#SentienceQuotient.]

Olası bilgisayım miktarı kullanıma müsait olan enerjiyle birlikte artar. Enerji ve bilgisayımsal kapasite arasındaki ilişkiyi şu şekilde anlayabiliriz: Bir miktar maddenin içindeki enerji her atomla (ve atom altı parçacıkla) bağlantılı olan enerjidir. Dolayısıyla daha fazla atom daha fazla enerji demektir. Yukarıda bahsedildiği gibi, her atom potansiyel olarak bilgisayım için kullanılabilir. Dolayısıyla daha fazla atom varsa daha fazla bilgisayım olur. Her atomun ya da parçacığın enerjisi hareketinin frekansıyla artar: daha fazla hareket daha fazla enerji demektir. Aynı ilişki, olası bilgisayım için de geçerlidir: daha yüksek hareket frekansı her bileşenin (ki bu bir atom olabilir) gerçekleştireceği daha fazla bilgisayım anlamına gelir. (Bunu çağdaş çiplerde görüyoruz: çipin frekansı daha yüksekse bilgisayımsal hızı çok daha yüksek oluyor.)

Dolayısıyla bir nesnenin enerjisiyle bilgisayım yapma potansiyeli arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Einstein'ın $E=mc^2$ eşitliğinden bildiğimiz kadarıyla, bir kilogramlık maddedeki enerji miktarı çok fazladır. Işık hızının karesi çok büyük bir sayıdır: yaklaşık 10^{17} metre^2 / saniye^2. Maddenin bilgisayım yapma potansiyeli de çok küçük bir sayı tarafından yönetilir, Planck sabiti: 6,6 x 10^{-34} joule-saniye (joule bir enerji ölçüm birimidir). Bu değer, bilgisayım için enerji uygulayabileceğimiz en küçük ölçektir. Bir nesnenin bilgisayım gerçekleştirmesinin teorik limitini o nesnenin toplam enerjisini (her atomu ya da parçacığı için ortalama enerji çarpı bu parçacıkların sayısı) Planck sabitine bölerek elde ederiz.

Lloyd bir kilogram maddenin potansiyel bilgisayma kapasitesinin nasıl pi sayısı çarpı enerji bölü Planck sabitine eşit olduğunu gösterir. Enerji böylesine yüksek olup Planck sabiti çok küçük olduğundan bu eşitlikten son derece yüksek bir sayı çıkar: saniyede yaklaşık 5 x 10^{50} işlem.

[Not: π x maksimum enerji (10^{17} kg x metre^2 / saniye^2) / (6,6 x 10^{-34} joule-saniye) = ~ 5 x 10^{50} işlem/saniye.]

Eğer bu değeri insan beyin kapasitesi için en ılımlı tahminle ilişkilendirirsek (10^{19} cps ve 10^{10} insan) yaklaşık 5 milyar trilyon insan medeniyetinin eşdeğerini temsil edecek.

[Not: 5 x 10^{50} cps, 5 x 10^{21} (5 milyar trilyon) insan medeniyetine eşittir (her biri 10^{29} cps gerektirir).]

Eğer insan zekâsını simüle etmek için yeterli olacağına inandığım 10^{16} cps değerini kullanırsak nihai dizüstü bilgisayar 5 trilyon trilyon insan medeniyetinin beyin gücüne eş olan bir güçle işlev görecek.

[Not: Her biri 10^{16} cps değerine sahip on milyar (10^{10}) insandan oluşan insan medeniyetinin beyin gücü 10^{26} cps'dir. Dolayısıyla 5 x 10^{50} cps 5 x 10^{24} (5 trilyon trilyon) insan medeniyetine eşittir.]

Böyle bir dizüstü bilgisayar geçtiğimiz on bin yıl boyunca var olan tüm insan düşüncesini (yani, on bin yıl boyunca işleyen on milyar insan beyni) nanosaniyenin on binde biri kadarlık bir sürede uygulayabilir.

[Not: Bu tahmin ılımlı bir şekilde geçtiğimiz on bin yılda dünyada on milyar insan olduğunu varsayıyor ki açık şekilde durum bu değil. İnsanların gerçek sayısı geçmiş zaman boyunca kademeli bir şekilde artarak 2000 yılında 6,1 milyara ulaştı. Bir yılda 3 x 10^7 saniye ve on bin yılda 3 x 10^{11} saniye vardır. Dolayısıyla insan medeniyeti için 10^{26} cps tahminini kullandığımızda on bin yıl boyunca var olan insan düşüncesi 3 x 10^{37} hesaplamadan fazla değil. Nihai dizüstü bilgisayar bir saniyede 5 x 10^{50} hesaplama yapıyor. Bu yüzden on bin yıllık on milyar insanın düşüncesini simüle etmek yaklaşık 10^{-13} saniye sürer ki bu da bir nanosaniyenin on binde biri kadarlık bir süredir.]

Buna da birkaç itiraz var. 1 kilogramlık dizüstü bilgisayarımızın tüm kütlesini enerjiye çevirmek aslında tam olarak termonükleer patlamada olan şeydir. Elbette, bilgisayarın patlamasını değil bir litrelik hacmi içinde kalmasını istiyoruz. Dolayısıyla bu, en azından, dikkatli bir paketleme gerektirecek. Böyle bir cihazdaki maksimum entropiyi (tüm parçacıkların evreleri tarafından temsil edilen serbestlik derecesi) analiz ederek Lloyd böyle bir bilgisayarın teorik olarak 10^{31} bitlik bir bellek kapasitesine sahip olacağını gösteriyor. Tüm bu sınırları geçen teknolojiler hayal etmek zor. Ancak bunu yapmaya yaklaşacak teknolojileri kolaylıkla zihnimizde canlandırabiliriz. Oklahoma Üniversitesi'nde yapılan projenin gösterdiği gibi hâlihazırda atom başına en azından elli bitlik bilgiyi saklayabildiğimizi gösterdik (şimdiye kadar az sayıda atomda gerçekleştirmiş olsak da). Dolayısıyla 10^{27} bit belleği bir kilogramlık maddede 10^{25} atomun içinde depolamak eninde sonunda başarılabilir olmalı.

Ancak her bir atomun çoğu özelliğinden bilgi saklamak için faydalanılabileceğinden –örneğin kesin konum, dönü ve tüm parçacıklarının kuantum evresi– 10^{27} bitten biraz daha iyisini yapabiliriz. Sinirbilimci Anders Sandberg bir hidrojen atomunun potansiyel depo kapasitesinin yaklaşık dört milyon bit olduğunu tahmin ediyor. Bu yoğunluklar henüz gösterilmedi, bu sebeple en ılımlı tahmini kullanacağız.

[Not: Anders Sandberg, "The Physics of the Information Processing Superobjects: Daily Life Among the Jupiter Brains", *Journal of Evolution and Technology* 5 (22 Aralık 1999), http://www.transhumanist.com/volume5/brains2.pdf.]

Yukarıda tartışıldığı gibi, saniyede 10^{42} hesaplama önemli miktarda ısı üretmeden başarılabilir. Tersinebilir bilgisayım tekniklerini tamamen uygulayarak, düşük seviyede hata üreten tasarımlar kullanarak ve makul oranda enerji yayılmasına izin vererek saniyede 10^{42} ve 10^{50} hesaplama arasında bir yerde son bulmalıyız.

Bu iki sınır arasındaki tasarım bölgesi karmaşıktır. 10^{42}'den 10^{50}'ye ulaşana kadar ortaya çıkacak teknik meseleleri incelemek bu bölümün kapsamı dışındadır. Bununla birlikte, bitirme yolu nihai sınır olan 10^{50}'den başlayıp çeşitli pratik düşünceleri temel alıp, geriye doğru çalışmaktan geçmediğini aklımızda tutmalıyız. Bunun yerine teknoloji, her zaman son hünerlerini kullanarak bir sonraki aşamaya doğru gelişmek için üretimi artırmaya devam edecek. Dolayısıyla 10^{42} cps'ye sahip olan (her 1 kilogram için) bir medeniyete ulaştığımızda, o günün biliminsanları ve mühendisleri biyolojik olmayan uçsuz bucaksız zekâyı 10^{43}'e, sonra 10^{44}'e vb. nasıl ulaşacaklarını bulmak için kullanacaklar. Tahminim nihai sınırlara çok yaklaşacağımız doğrultusunda.

10^{42} cps'te bile 1 kilogramlık "nihai taşınabilir bilgisayar" son on bin yıldaki tüm insan düşüncesinin (on milyar insan beyninin on bin yıl boyunca var olduğu varsayıldı) eşdeğerini on mikrosaniyede uygulayabilecek.

[Not: Yukarıdaki nota bakınız. 10^{42} cps 10^{50} cps'den 10^{-8} kat daha azdır, dolayısıyla bir nanosaniyenin on binde biri 10 mikrosaniye olur.]

Eğer Bilgisayımın Üstel Büyümesi grafiğine (bölüm 2) bakarsak, bu miktardaki bilgisayımın 2080 yılına kadar bin dolara kullanılabilir olduğunun tahmin edildiğini görürüz.

İsim Dizini

Kavram Dizini

Yapay zekâ, yirminci yüzyılın ikinci yarısından beri bilim insanları, akademisyenler ve teknoloji üreticilerinin yanı sıra farklı ilgi alanlarına sahip birçok insanın alakadar olduğu bir alandır. Günümüz fütüristlerinden Ray Kurzweil, bizleri bu noktaya getiren önemli kişiler ve keşiflerden yola çıkarak yapay zekâ alanının geleceğine dair tahminler yürütüyor. Bu süreçte, bilgisayar-zihin modelini benimseyerek, yapay zekâyı meydana getiren kriterleri, insan beyni ve zihni model alınarak sürdürülen çalışmaları aktarıyor ve yapay bir zihin oluşturarak bir anda sayısız bilgiye hızlı erişim sağlamanın yollarını arıyor. Bir zihin yaratarak, beynimizin biyolojik sınırlarını aşmaya çalışan Kurzweil'ın önerileri bugün için şaşırtıcı görünse de gelecekteki günlük yaşamımıza dair bilim kurgu filmlerini aratmayacak portreler çiziyor.

Ray Kurzweil, herhangi bir tarzda basılmış metinleri okuyabilen, konuşma ve müzik üretebilen ve konuşmayı anlayabilen yapay zekâ sistemlerine önderlik etmiştir. Bu sistemler, insanları satrançta ve Jeopardy! oyununda yenen, otomobil kullanabilen akıllı bilgisayarların öğrenme devriminin önünü çeken sistemlerdi. Kurzweil'ın bu eseri, bu gelişmelerin özellikle bu zekâ teknolojilerinin devrimine fırsat veren öğrenmenin, açık ve merak uyandıran bir özetidir. Ayrıca bugün bilim ve teknolojideki en büyük problem olduğuna inandığım şeye dair önemli görüşler sunuyor ki bu da beynin nasıl çalıştığı ve zekâyı nasıl ürettiği sorusudur.

Tomaso Poggio, MIT Beyin ve Bilişsel Bilimler Bölümü Başkanı

Tanınmış yapay zekâ önderlerinden Ray Kurzweil hem biyolojik hem de biyolojik olmayan zekânın gerçek doğasını açıklamak için yeni bir kitap ortaya koymuştur. Bu eser, insan beynini bir sandalyeden mizah duygusuna kadar geniş bir aralıkta olan hiyerarşik kavramları anlayabilen bir makine olarak tasvir ediyor. Sezgileri hem beyinde hem de yapay zekâda öğrenmenin önemini vurguluyor. Kurzweil, insanlığın büyük zorluklarını çözmek için gerekli olacak olan süper insan zekâsına ulaşmak için güvenilir bir yol haritası çiziyor.

Ray Reddy, Carnegie Mellon Üniversitesi Robotik Enstitüsü'nün kurucusu; Turing Ödülü sahibi



Bilim - Teknoloji

ISBN: 978-605-399-422-0



www.bilgiyay.com



İSTANBUL BİLGİ ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI